

Univerzita Karlova v Praze

Pedagogická fakulta

Katedra informačních technologií a technické výchovy

## RIGORÓZNÍ PRÁCE

Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování

Educational specifics of the spatial visualization

Miloš Prokýšek

Konzultant práce: doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

Studijní program: Pedagogika

Studijní obor: Pedagogika

2016

Univerzita Karlova v Praze

Pedagogická fakulta

# Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování

Mgr. Miloš Prokýšek

Katedra informačních technologií a technické výchovy

Školitel: doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

Studijní program: Pedagogika

Studijní obor: Pedagogika

2012

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování vypracoval pod vedením školitele samostatně za použití v práci uvedených pramenů a literatury. Dále prohlašuji, že tato disertační práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Datum: 26. 3. 2012

.....  
podpis

## **Poděkování**

Děkuji doc. PhDr. Vladimíru Rambouskovi, CSc. za odborné a motivující vedení při vypracování této disertační práce.

**NÁZEV:**

Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování

**AUTOR:**

Mgr. Miloš Prokýšek

**KATEDRA**

Katedra informačních technologií a technické výchovy

**ŠKOLITEL:**

doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

**ABSTRAKT:**

Předmětem zkoumání této disertační práce je fenomén prostorového zobrazování a jeho funkční specifika a možnosti z hlediska didaktiky. Studie se zabývá problematikou vymezení prostorového zobrazování jako didaktického prostředku, identifikací jeho didaktických a funkčních specifik a zkoumáním vztahu prostorového zobrazování a kognitivních procesů. V rámci práce je empiricky ověřován vliv aplikace prostorového zobrazování v procesu učení na studijní výsledky žáků v závislosti na některých složkách prostorové inteligence. Rozpracováním teorie dané specifické oblasti didaktických prostředků se práce usiluje o příspěvek k rozvoji didaktiky v kontextu rostoucího významu technologií pro podporu vzdělávání.

**KLÍČOVÁ SLOVA:**

vzdělávání, didaktické prostředky, prostorové zobrazování, didaktická specifika prostředků prostorového zobrazování, prostorová inteligence

**TITLE:**

Educational specifics of the spatial visualization

**AUTHOR:**

Mgr. Miloš Prokýšek

**DEPARTMENT:**

Department of information technology and technology education

**SUPERVISOR:**

doc. PhDr. Vladimír Rambousek, CSc.

**ABSTRACT:**

This thesis deals with phenomena of spatial visualization, application of spatial visualization in instruction and its educational specifics. The present thesis addresses the questions of definition of spatial visualization in instruction, specification of educational specifics and exploration of the relations between spatial visualization and cognitive processes. The experimental part of the thesis is focused on relations between the form of presentation of subject matter (planar visualization and spatial visualization), spatial intelligence, or the ability of mental rotation and the results of learning at students of lower secondary (ISCED 2) school. Elaboration of the theory given field of educational means, the thesis seeks to contribute to the development of theoretical bases of pedagogy with the context of increasing importance of technology for support education.

**KEYWORDS:**

education, educational tools, spatial visualization, spatial intelligence, mental rotation ability, educational specifics

## Obsah

1	Úvod .....	8
2	Vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce .....	12
2.1	Výzkumný problém .....	13
2.2	Výzkumné otázky .....	15
2.3	Cíle a úkoly práce .....	15
2.4	Výzkumné metody .....	16
3	Didakticko-technická specifika prostorového zobrazování .....	18
3.1	Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazování .....	18
3.1.1	Zobrazení .....	18
3.1.2	Vnímání prostoru .....	22
3.1.3	Prostředek .....	27
3.1.4	Prostředek prostorového zobrazování .....	31
3.2	Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování .....	33
3.2.1	Nepravé prostorové zobrazení .....	34
3.2.2	Percepční charakteristika prostorového zobrazení .....	34
3.3	Prostředky prostorového zobrazování .....	37
3.3.1	Historie .....	38
3.3.2	Nepravé prostorové zobrazování .....	41
3.3.3	Paralaktické zobrazení .....	41
3.3.4	Přímé zobrazení v prostoru .....	58
3.3.5	Light field systémy .....	63
3.3.6	Hologram .....	67
3.3.7	Komparace percepčních charakteristik .....	70
3.4	Kognitivní aspekty prostorového zobrazení .....	71
3.4.1	Prostorová inteligence .....	73

3.4.2	Mentální reprezentace .....	80
3.4.3	Mentální model .....	82
3.4.4	Kognitivní zátěž .....	84
3.4.5	Implikace kognitivních aspektů prostorového zobrazování .....	86
3.5	Didaktická specifika prostorového zobrazování .....	87
3.5.1	Monoskopické a polyskopické zobrazení .....	91
3.5.2	Aktivní a pasivní pohybová paralaxa .....	92
3.5.3	Forma prostorového zobrazení .....	92
3.5.4	Didaktické aspekty technologií prostorového zobrazování .....	93
3.5.5	Didaktické aspekty zobrazovaného modelu .....	100
4	Výzkumné šetření .....	105
4.1	Cíle a organizace šetření .....	105
4.2	Použité výzkumné metody a nástroje .....	106
4.2.1	Přípravná fáze .....	108
4.2.2	Experiment .....	117
4.2.3	Testování výsledků experimentálního zásahu .....	120
4.3	Interpretace a diskuze výsledků experimentu .....	128
5	Závěr .....	131
6	Použitá literatura a prameny .....	140
7	Seznam obrázků .....	154
8	Seznam tabulek .....	156
9	Seznam grafů .....	157
10	Přílohy .....	158
A	Zadání testu T1 .....	158
B	Zadání testu T2 .....	159
C	Zadání testu a vzorové řešení T3 .....	161
D	Incidenční arch .....	162



## 1 Úvod

Předmětem zkoumání této disertační práce je fenomén prostorového zobrazování a jeho funkční specifika a možnosti z hlediska didaktiky, resp. didaktiky informační a technické výchovy. Práce přitom vychází z předpokladu, že prostorové zobrazení může obohatit systém didaktických prostředků a přispět v řadě případů ke zvýšení kvality a efektivity edukačních aktivit.

Prostorové zobrazování je oblastí, jejíž rozvoj v poslední době výrazně akceleroje a současně oblastí, jež z hlediska technologických řešení i aplikací velmi diverzifikuje. Vedle již klasických technologií využívajících primárně binokulární paralaxy<sup>1</sup> se objevují technologie založené na holografii<sup>2</sup> a dokonce též technologie pracující na principu přímého zobrazování v prostoru<sup>3</sup> a reprodukci světelného pole<sup>4</sup>. V závislosti na druhu použitých technologií a konkrétních implementacích tak může mít prostorové zobrazování nejrůznější podobu, od jednoduchého zobrazení pomocí anaglyfu, až po přímé zobrazení v prostoru.

Vysledovat lze též řadu aplikačních projektů využívajících nejrůznějším způsobem a na různé úrovni nástrojů prostorového zobrazování pro zobrazování jak konkrétních objektů reálného světa, tak nejrůznějších virtuálních objektů, komplexních virtuálních světů či pojmových nebo datových struktur. Z hlediska aplikačních sfér vstupuje prostorové zobrazování do techniky, přírodních věd, medicíny, matematiky, informatiky a mnoha dalších oborů. Nezanedbatelný rozvoj je možno zaznamenat i v oblasti kinematografie či spotřební elektrotechniky.

---

<sup>1</sup> PHILLIPS, Del. *A Visual History of the Stereoscope* [online]. 2006 [cit. 2011-08-03]. Dostupné z WWW: <<http://home.centurytel.net/s3dcor/>>.

<sup>2</sup> BLANCHE, Pierre-Alexandre, et al. An Updatable Holographic Display for 3D Visualization. *Journal of display technology*. 2008, 4, 4, s. 424-430. Dostupný také z WWW: <[http://www.optics.arizona.edu/pablanche/images/Articles/0812\\_Blanche\\_IEEE4.pdf](http://www.optics.arizona.edu/pablanche/images/Articles/0812_Blanche_IEEE4.pdf)>. ISSN 1558-9323.

<sup>3</sup> GROSSMAN, Tovi; BALAKRISHNAN, Ravin. Collaborative Interaction with Volumetric Displays. In *CHI 2008 Proceedings*. Florence : [s.n.], 2008. s. 383-392. Dostupné z WWW: <[http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008\\_collaborativevolumetric.pdf](http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008_collaborativevolumetric.pdf)>. ISBN 978-1-60558-011-1.

<sup>4</sup> EVOY, Marc; SHADE, Jonathan. *Stanford Computer Graphics Laboratory* [online]. 29.5.1999 [cit. 2011-08-08]. A light field of Michelangelo. Dostupné z WWW: <<http://graphics.stanford.edu/projects/mich/lightfield-of-night/>>.

Podobně jako u některých jiných didaktických prostředků, které se začaly využívat ve školské praxi v souvislosti s rozšířením osobních počítačů a internetu, lze i u prostorového zobrazování předpokládat nové možnosti v porovnání s klasickými didaktickými prostředky (např. streamované video, interaktivní animace v porovnání s videozáznamem či výukovou televizí). Prostorové zobrazování by pravděpodobně mohlo v určitých aspektech či situacích nahradit některé fyzické učební pomůcky, nebo je dokonce svými možnostmi překonat, a přispět tak k vyšší efektivitě učení.

Lze se domnívat, že prostorové zobrazování má určitá percepční specifika ve srovnání se zobrazením plošným, ať již statickým, nebo dynamickým, které se jako didaktický prostředek užívá standardně. Posun od dvojrozměrných zobrazení k prostorovému zobrazování učebních pomůcek, datových struktur či virtuálních vzdělávacích prostorů je přitom možno chápat jako přirozenou evoluci, kterou umožňuje rozvoj moderních technologií a výpočetního výkonu současných prostředků informační a komunikační technologie (ICT). U prostorových zobrazení je možno přitom uvažovat o množství a kvalitě obsahových informací i způsobu jejich získávání a zpracování a o navozovaných kognitivních procesech vnímajícího subjektu ve vazbě na znázorňování a osvojování učiva. Rovněž tak je možno uvažovat o pozitivním vlivu prostorového zobrazování na rozvoj prostorové představivosti nebo o její efektivní substituci.<sup>5</sup>

Výše uvedené předpoklady se však doposud nestaly předmětem vědeckého zájmu v širším měřítku a lze konstatovat, že zkoumání fenoménu prostorového zobrazování v rámci pedagogických věd je na počátku. Problematika prostorového zobrazování je v současné době v pedagogické literatuře zmiňována spíše okrajově. Větší zájem o témata související s prostorovým zobrazováním lze vysledovat především v oblasti virtuální reality, která s fenoménem prostorového zobrazování úzce souvisí<sup>6</sup>.

Tato studie usiluje o zmírnění uvedené disproporce cestou vědeckého uchopení fenoménu prostorového zobrazování z hlediska pedagogiky a didaktiky, především pak didaktiky

---

<sup>5</sup> BYRNE, Christine M. *Water on Tap: The Use of Virtual Reality as an Educational Tool* [online]. Washington : University of Washington, 1996. 0 s. Dizertační práce. University of Washington. Dostupné z WWW: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/dissertations/Byrne/home.html>>.

<sup>6</sup> JONES, Steve *Virtual Reality Technology and the Future of Education*, Dostupný z WWW: <<http://stevejones.me/pubs/2006/VRTechAndFutureEd.pdf>>.

informační a technické výchovy, a tím i potvrzení či vyvrácení shora uvedených předpokladů. Základním záměrem práce je provést identifikaci a analýzu prostorového zobrazování jako inovativního didaktického prostředku, stanovit jeho didaktická specifika a zakotvit prostorové zobrazování do struktury stávajících didaktických prostředků.

Výzkumným polem studie je rozsáhlá a doposud ne zcela zřetelně technologicky i terminologicky vymezená oblast prostorového zobrazování, a to v rovině obecné i ve specifické roli didaktického prostředku. Studie se proto musí usilovat primárně o analýzu širokého spektra technologií, které jsou označovány obecným názvem prostorové zobrazování, vymezit samotný pojem prostorové zobrazování, formulovat společný teoretický rámec této oblasti a provést její kategorizaci, zkoumat představitele jednotlivých oblastí z hlediska funkčního i z hlediska jejich specifického didaktického potenciálu a vymezit je vůči systému technický výukových prostředků.

Prostorové zobrazování se jeví z hlediska vnímání jako značně specifické a problémová oblast proto musí být zkoumána i z hlediska fyziologie vnímání a z hlediska kognitivní psychologie. Pozornost je zde třeba věnovat především otázkám vnímání prostoru, prostorové inteligence<sup>7</sup> (resp. jejích jednotlivých složek, včetně genderových aspektů) a dále pak vývoji specifických dovedností spojených s vnímáním a vnitřní reprezentací prostorových informací.

V kontextu shora uvedených charakteristik a předpokladů lze hlavní výzkumný problém práce zformulovat do otázky, zda má prostorové zobrazování charakter inovativního didaktického prostředku, jehož vlastnosti lze efektivně využívat ve školské praxi. Hlavním cílem práce je tudíž rozpracovat problematiku prostorového zobrazování jako inovativního didaktického prostředku, a tím přispět k rozvoji pedagogické vědy, zvláště pak v oblasti didaktiky technické a informační výchovy.

Pro hledání odpovědí na výzkumné otázky plynoucí z hlavního problému a plnění dílčích cílů a úkolů práce derivovaných z cíle hlavního bude užito teoretických i empirických metod. Z teoretických metod bude užito metody analytické a syntetické založené na studiu odborné literatury, konkrétně obsahové analýzy, komparace a případně reinterpretace jak primárních

---

<sup>7</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5.

pramenů, tak pramenů sekundárních. Tento teoretický výzkum bude použit v první části práce, kde poslouží ke zmapování současného stavu poznání v problémové oblasti, k zakotvení sledované problematiky do pedagogické teorie a umožní koncipovat a aplikovat výzkumný projekt. Empirické metody budou užity v rámci realizace výzkumného projektu, který je koncipován jako výzkum kvantitativní. Základem celého empirického šetření je pedagogický experiment<sup>8</sup>, jehož cílem je ověřit teoretické předpoklady v edukační realitě a verifikovat adekvátnost zvolených empirických výzkumných nástrojů.

Práce je členěna do několika základních, úzce souvisejících částí. V úvodu je po vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce pozornost věnována zejména základnímu pojmovému aparátu, který tvoří spolu s identifikací výzkumných problémů a specifikací výzkumných otázek výchozí bod pro stanovení cílů práce. Další část práce je věnována teoretickým základům vnímání prostoru a orientace v něm a především otázkám percepce prostoru z pohledu kognitivní psychologie a jeho mentální reprezentace s cílem přispět k lepšímu porozumění a identifikaci didaktických specifik jednotlivých prostředků prostorového zobrazování. Dále je fenomén prostorového zobrazování zkoumán z hlediska funkčně technologických specifik současných existujících prostředků prostorového zobrazování se záměrem vytvořit kategorizaci příslušných prostředků užitou dále pro navržení systému obecných didaktických specifik jednotlivých tříd prostředků prostorového zobrazování. Na tuto teoreticky orientovanou část práce navazuje část orientovaná empiricky. Zde je popsán realizovaný pedagogický experiment a jeho výsledky. Práce pak dospívá do poslední části, která shrnuje závěry předchozích kapitol.

Výsledkem práce by měla být identifikace a analýza prostorového zobrazování jako inovativní technologie i jako samostatného didaktického prostředku a zakotvení prostorového zobrazení do systému didaktických prostředků. Práce tudíž usiluje o zařazení prostorového zobrazování do systému didaktických prostředků, hodlá podat přehled o těchto prostředcích a jejich kategorizaci, přinést analýzu percepčních charakteristik prostorového zobrazení, včetně vlivu prostorové inteligence jedince na percepci prostorového zobrazení a hledat didaktická specifika prostorového zobrazování ve výuce.

---

<sup>8</sup> PELIKÁN, Jiří. *Základy empirického výzkumu pedagogických jevů*. Praha : Karolinum, 1998. 270 s. ISBN 80-7184-569-8. str. 55

## 2 Vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce

Disertační práce se zabývá rolí a pozicí prostorového zobrazování ve vzdělávání. Zkoumaná problémová oblast prostorového zobrazování je doposud nejasně vymezena a její uchopení z hlediska pedagogických věd se vyznačuje značnou koncepční i terminologickou nekonzistencí. Předmětem zájmu této práce jsou kromě již zavedených prostředků prostorového zobrazování i technologie ve stádiu experimentálních či laboratorních zařízení, které predikují budoucí podobu zařízení pro prostorové zobrazování. Studie se tudíž zabývá relativně širokým spektrem technologií, přičemž zde nemůže vycházet z obecně přijímaného konceptu prostorového zobrazování či zavedené kategorizace dané oblasti technologií z hlediska funkčního nebo percepčního. Představitele skupin technologií prostorového zobrazování následně práce zkoumá z hlediska jejich specifického didaktického potenciálu, resp. didaktických specifik jako prvky systému technických výukových prostředků.

Práce vychází z obecného intuitivního předpokladu, že prostředky prostorového zobrazování vykazují značný didaktický potenciál a jejich zobrazování do procesu výuky by mohlo v určitých případech zvýšit efektivitu vyučovacího procesu. Tento předpoklad je postaven na množství případů použití rozličných prostředků prostorového zobrazování, které byly popsány v odborném i populárním tisku. Tato sdělení však postrádají hlubší pohled na problematiku prostorového zobrazování v jeho komplexnosti. Dosavadní práce věnované danému tématu jsou obvykle zaměřeny na dílčí aspekty komplexního problému a nezkoumají jej v jeho celistvosti. V první řadě se jedná o studie zaměřené na prostorovou představivost<sup>9</sup> a její rozvoj či vztah prostorové představivosti k studijním výsledkům v některých disciplínách<sup>10</sup>. Dále pak studie orientované na porovnání výsledků výuky za použití běžného a prostorového zobrazování<sup>11</sup> a v neposlední řadě studie věnované

---

<sup>9</sup> GÓRSKA, Renata A. Spatial Imagination an Overview of the Longitudinal Research at Cracow University of Technology. *Journal for Geometry and Graphics*. 2005, 9, s. 201-208. Dostupný také z WWW: <<http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg09/j9h2gors.pdf>>. ISSN 1433-8157.

<sup>10</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821.

<sup>11</sup> ESPARRACHIARI, Silvia, et al. VRCOPE : A Virtual Reality Learning Tool for Electrophysiology. In *Proceedings of the II Workshop TIDIA FAPESP*. Sao Paolo : [s.n.], 2005. s. 6.

virtuální realitě<sup>12</sup>, virtuálním výukovým prostorům<sup>13</sup> a dalším tématům. Většina těchto studií má podobu informačního sdělení nebo případové studie a nepřináší obecněji platné závěry.

Z tematického zaměření studií lze vyvodit, že zřejmě k největšímu rozšíření prostorového zobrazování došlo ve výuce biologie, medicíny, chemie a fyziky, a to především na úrovni vysokých škol. Expanzi prostorového zobrazování lze pozorovat i v technických disciplínách, pravděpodobně jako důsledek rozšíření CAD<sup>14</sup> systémů, ovšem zde jsou tyto technologie využívány především pro finální vizualizaci navržených modelů.

Je možné se domnívat, že dosud relativně malé rozšíření prostorového zobrazování na nižších stupních škol bylo způsobeno vysokou cenou některých zařízení<sup>15</sup>, malou informovaností učitelů a především pak nedostatkem kvalitního didaktického obsahu.

## 2.1 Výzkumný problém

Hlavní výzkumný problém práce lze formulovat do otázky, zda má prostorové zobrazování charakter inovativního didaktického prostředku, jehož vlastnosti lze efektivně využívat ve školské praxi.

Na základě tohoto obecného hlavního problému vyvstává řada problémů dílčích, jejichž řešení je nezbytné pro generování validní odpovědi na hlavní výzkumný problém. Lze vůbec vzhledem k rozvoji příslušných technologií a jejich funkcí považovat prostorové zobrazování za didakticky významný druh prezentace učiva? Pokud ano, má použití prostorového zobrazování vliv na způsob, jakými jsou zobrazované informace vnímány a přetvářeny ve vědomosti?

Některé prameny<sup>16</sup> uvádějí, že způsob, jakým jsou budovány mentální reprezentace percipované skutečnosti, především pak mentální modely, se u srovnatelných skupin

---

<sup>12</sup> ROUSSOU, Maria. Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. *Foundation of the Hellenic World* [online]. 2007, 5, [cit. 2011-06-23]. Dostupný z WWW:

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>>.

<sup>13</sup> FURNESS, Thomas A.; WINN, William ; YU, Rose. *Human Interface Technology Lab* [online]. 1998 [cit. 2011-06-19]. The Impact of Three Dimensional Immersive Virtual Environments on Modern Pedagogy. Dostupné z WWW: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-32/>>.

<sup>14</sup> Computer aided design

<sup>15</sup> V současné době (2011) je již situace výrazně lepší v důsledku masivního rozšíření projekční a zobrazovací techniky pro prostorové zobrazování.

jednotlivců liší v závislosti na tom, zda jsou při vytváření mentálního modelu použity plošné nebo prostorové modely reprezentující stejný objekt. Tato mentální představa je zásadní pro další poznání předkládané skutečnosti a v případě nesprávného, nebo nepřesného mentálního modelu může vést k nesprávným závěrům<sup>17</sup>.

Dále je možno zkoumat prostorové zobrazování z hlediska jeho aplikace ve výuce, tedy například v jakých typech didaktických situací, výukových obsahů či úloh je prostorové zobrazování didakticky zvláště výhodné?

V případě prostorového zobrazování navíc vstupují do hry individuální kvality jedince. Kromě fyziologických specifíků, které znevýhodňují některé jedince z pohledu jejich schopnosti stereoskopického vidění<sup>18</sup> se zdá, že didaktický efekt prostorového zobrazování je ovlivňován prostorovou inteligencí jedince či některými jejími složkami.

Lze předpokládat, že pro některé jedince by mohlo být použití prostorového zobrazování při výuce obzvláště přínosné, zatímco u jiných by nemusel být patrný žádný výraznější rozdíl oproti tradičním způsobům zobrazování. Množství výzkumů zaměřených na vztah studijních výsledků a prostorové inteligence<sup>19</sup> naznačuje, že rozvoj prostorové inteligence vede k vyšší úspěšnosti v technických oborech. Tyto výzkumy se opírají o testy prostorové inteligence, které jsou založeny na úlohách zadaných pomocí plošných zobrazení. Lze se domnívat, že pro technické obory je kritickou schopností schopnost jedince vytvořit si z plošného zobrazení prostorový mentální model a pracovat s ním. Zdá se, že studijní výsledky jedinců, kteří tuto schopnost nemají, by byly významně ovlivněny, pokud by při výuce předkládané pomůcky tuto operaci nevyžadovaly.

V neposlední řadě je možné vyslovit otázku, zda lze nalézt obecná didaktická specifika prostorového zobrazení bez ohledu na jeho konkrétní obsah a technické řešení?

---

<sup>16</sup> SCHNABEL, Marc A.; KVAN, Thomas. Spatial understanding in immersive virtual environments. *International Journal of Architectural Computing*. 2003, 1, 3, s. 435-448. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.4578&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 1478-0771.

<sup>17</sup> Blíže viz kapitola 3.4.3 Mentální model

<sup>18</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 222

<sup>19</sup> JAVIDI, Giti. *EME7938* [online]. 1999 [cit. 2011-08-08]. Virtual Reality and Education. Dostupné z WWW: <<http://www.coedu.usf.edu/itphdsem/eme7938/gj899.pdf>>.

Pokud by taková specifika bylo možné určit, bylo by možné u stávajícího didaktického obsahu identifikovat úlohy či okruhy vhodné pro zpracování do podoby, ve které by je bylo možno prezentovat pomocí prostorového zobrazování.

## 2.2 Výzkumné otázky

Výše naznačené problémy je možno formulovat do základních a dílčích výzkumných otázek, na které se tato práce pokouší přinést odpovědi:

1. Lze považovat prostorové zobrazení za druh didaktického prostředku?
2. Jaké jsou rozdíly mezi informačními a percepčními charakteristikami prostorového zobrazení a plošného zobrazení z hlediska dosahování výukových cílů?
3. V jakých základních charakteristikách se liší mentální modely vytvářené za použití plošného a prostorového zobrazení?
4. Jaké jsou obecné charakteristiky didaktických situací či úloh, v nichž lze preferovat prostorové zobrazování jako didaktický prostředek?
5. Jaké složky prostorové inteligence zvláště ovlivňují proces absorpce informací prezentovaných plošným a prostorovým zobrazením a vytváření mentálních modelů?
6. Jaká jsou obecná didaktická specifika prostorového zobrazení?

## 2.3 Cíle a úkoly práce

Hlavním cílem této práce je tedy rozpracovat problematiku prostorového zobrazování jako inovativního didaktického prostředku a přispět tím k rozvoji pedagogické vědy, zvláště pak v oblasti didaktiky technické a informační výchovy. Hlavní cíl lze pak v kontextu k dílčím problémům a otázkám redefinovat do cílů dílčích:

1. Vymežit problémovou oblast prostorového zobrazování a její hlavní pojmové konstrukty.
2. Analyzovat stávající prostředky prostorového zobrazování z hlediska jejich principů a funkčních možností a navrhnout systém jejich klasifikace.
3. Identifikovat charakteristiky mentálních modelů vytvářených za použití prostorového zobrazování a plošného zobrazení.
4. Nalézt hlavní rozdíly v percepci plošného a prostorového zobrazení
5. Specifikovat obecné vlastnosti didaktických situací vhodných pro využití prostorového zobrazování.



6. Vymežit charakter vztahu mezi složkami prostorové inteligence a procesem absorpce informací prezentovaných plošným a prostorovým zobrazením při vytváření mentálních modelů a empiricky tento vztah verifikovat.
7. Elaborovat systém didaktických specifik prostorového zobrazování a metodických přístupů k jeho efektivní implementaci ve vzdělávání.

## 2.4 Výzkumné metody

Pro dosažení stanovených cílů a splnění úkolů vytýčených v této práci budou použity metody teoretické a empirické. V první fázi práce se jedná o terminologickou analýzu pojmu prostorové zobrazování, založenou na studiu primárních i sekundárních pramenů a jejich interpretace. Dále pak o metody klasifikační a vztahové analýzy oblasti prostředků prostorového zobrazování a syntetické konstrukce popisného aparátu a klasifikačních systémů.

Pro stanovení didaktických a percepčních specifik prostorového zobrazování budou využity především metody induktivně-deduktivní, vycházející z analýzy primárních a sekundárních pramenů z oblasti kognitivní vědy a teorie technických výukových prostředků.

Tento teoretický výzkum umožní koncipovat a realizovat výzkumný projekt, který si klade za cíl empiricky verifikovat závěry teoretické části práce formou didaktického experimentu<sup>20</sup>. Experiment by měl být organizován tak, aby jeho výsledky byly co nejméně ovlivněny ze strany intervenujících proměnných. Z tohoto důvodu bude použito metody párových výběrů a vyrovnaných skupin.

V přípravné fázi experimentu bude vzhledem ke specifice zkoumaných skutečností pro vytvoření experimentální a kontrolní skupiny na základě párových výběrů užito metody analýzy pedagogické dokumentace a dále metody testů, konkrétně testu úrovně schopností mentálních rotací – MRT, testu úrovně prostorové představivosti – SBST. Vlastní experimentální zásah bude proveden v reálné výukové situaci. V rámci jeho průběhu bude aplikována metoda pozorování s pořizováním incidenčního záznam z každé výukové hodiny. Zjišťování výsledků experimentálního zásahu bude provedeno pomocí výkonových

---

<sup>20</sup> PELIKÁN, Jiří. *Základy empirického výzkumu pedagogických jevů*. Praha : Karolinum, 1998. 270 s. ISBN 80-7184-569-8. str. 55

didaktických testů. Pro statistické vyhodnocení výsledků bude užita popisná statistika a pro určení významnosti rozdílů mezi experimentálními a kontrolními skupinami, resp. jejich podvýběry, bude aplikován neparametrický Mann-Whitneyho U-Test.

### 3 Didakticko-technická specifika prostorového zobrazování

Ve vztahu k výše formulovaným cílům se úvodní teoretická část práce soustřeďuje na analýzu fenoménu prostorového zobrazení z hlediska terminologického, technologického a didaktického. Konkrétně je jejím úkolem především vymezit problémovou oblast prostorového zobrazování a její hlavní pojmové konstrukty, analyzovat principy a funkce stávajících prostředků prostorového zobrazování a rozpracovat systém didaktických specifik oblasti prostředků prostorového zobrazování.

#### 3.1 Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazování

Prostorové zobrazování není jako odborný termín v české ani anglicky psané literatuře doposud dostatečně zakotveno. Různí autoři označují prostorové zobrazování (resp. prostředky prostorového zobrazování ve smyslu, v němž jsou chápány v této práci), řadou výrazů, přičemž žádný z nich nemá jednoznačnou převahu. Vymezení tohoto pojmu je ovšem klíčové nejen pro samu oblast technologií, ale též pro rozpracování systému didaktických specifik příslušných prostředků. Některé technologie, které jsou pod pojem prostorové zobrazování zahrnovány, nevykazují důležité vlastnosti, které je vymezují proti ostatním, již etablovaným technickým výukovým prostředkům. Tato práce si proto jako jeden z dílčích cílů stanovuje rozpracovat toto vymezení.

##### 3.1.1 Zobrazení

Pojem „zobrazení“ (někdy též projekce či promítání, v anglicky psané literatuře projection či visualization) se jako odborný termín vyskytuje v řadě vědních oborů, a to s rozdílným významem. Z hlediska matematické teorie množin je zobrazení definováno jako „*předpis, který každému prvku nějaké množiny  $M$  přiřazuje nejvýše jeden prvek množiny  $N$* “.<sup>21</sup> Zobrazení (projekce) se v matematice kromě teorie množin objevuje například i v geometrii, kde je podle jedné z možných definic definováno takto: „*geometrickým zobrazením v rovině se rozumí předpis, který libovolnému bodu  $X$  roviny přiřazuje jako jeho obraz právě jeden bod  $X'$  téže roviny*“<sup>22</sup>. Obecněji řečeno, projekcí se rozumí obraz geometrického útvaru

---

<sup>21</sup> Multimediální kurz aplikované vyšší matematiky [online]. Ostrava : 2002 [cit. 2011-09-11]. Zobrazení. Dostupné z WWW: <<http://artemis.osu.cz/mmmat/>>.

<sup>22</sup> DOLEŽAL, Jiří. *Základy geometrie a Geometrie* [online]. Ostrava : VŠB-TU, 2007 [cit. 2011-09-11]. Geometrická zobrazení v rovině. Dostupné z WWW:

promítnutý na přímku, plochu nebo povrch<sup>23</sup>. Všechny tyto definice hovoří o zobrazení jako o funkci (předpisu), která transformuje vzor (resp. všechny jeho prvky) na obraz.

Fyzika operuje s pojmem optické zobrazení ve smyslu: „*zobrazení předmětů vytvářením obrazů na základě zákonů optiky. Pomocí optické soustavy získáváme obrazy tím, že ke každému předmětu přiřadíme obraz díky zobrazovací soustavě, která je řízena buď zákonem odrazu, nebo zákonem lomu*“.<sup>24</sup>

V publikaci Film a filmová technika<sup>25</sup> je optické zobrazení definováno jako: „*jev, při němž se svazek paprsků vycházející ze svítícího bodu (předmětového bodu) po průchodu optickou soustavou (lomem světla, čočkami nebo hranoly, popř. odrazem na zrcadlech) protíná více nebo méně přesně v jednom bodě (bodě obrazovém). Tento bod se také označuje jako skutečný (reálný) obraz zobrazovaného předmětového bodu*“. Němeček<sup>26</sup> definuje promítání (neboli projekci) jako „*optické zobrazení filmu, diafilmu, diapozitivu, transparentu apod. na promítací ploše*“.<sup>27</sup>

V didaktice se pojem zobrazení užívá ve spojitosti s klasifikací učebních pomůcek, a to především ve spojení nepromítané zobrazení a promítané zobrazení (např. Geschwinder<sup>28</sup>, Rambousek<sup>29</sup>). Zobrazení však nemusí mít pouze formu promítaného či nepromítaného obrazu. Například Rádl<sup>30</sup> používá výraz trojrozměrné zobrazení pro fyzické modely a makety, tedy více či méně zjednodušené modely reality materiální povahy.

---

<<http://mdg.vsb.cz/jdolezal/StudOpory/ZakladyGeometrie/Planimetrie/GeometrickaZobrazeni/GeometrickaZobrazeni.html>>.

<sup>23</sup> Projection: The American Heritage® Dictionary of the English Language [online]. Fourth Edition. [s.l.] : Houghton Mifflin Company, 2000, 2009 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.thefreedictionary.com>>.

<sup>24</sup> MALÝ, Petr. *Optika*. Praha : Univerzita Karlova v Praze, 2008. 361 s. ISBN 978-80-246-1342-0.

<sup>25</sup> BARAN, Ludvík, et al. *Film a filmová technika*. 1. vydání. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1974. 356 s.

<sup>26</sup> NĚMEČEK, Miroslav, et al. *Stručný slovník didaktické techniky a učebních pomůcek*. Praha : SPN, 1985. 134 s.

<sup>27</sup> Při promítání je vzor (diapozitiv, diafilm atd.) zobrazen na promítací ploše jako skutečný, zvětšený a obvykle převrácený obraz (v důsledku použití optických prvků v objektivě promítacích přístrojů). Současné dataprojektory jsou principiálně shodné s touto filmovou technikou, pouze vzor je vytvářen obvykle pomocí LCD či DLP prvků.

<sup>28</sup> GESCHWINDER, Jan. *Metodika využití materiálních didaktických prostředků*. 1. vyd. Praha : SPN, 1987. 262 s.

<sup>29</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s.

<sup>30</sup> RÁDL, Zdeněk. Výskum a vývoj materiálních didaktických prostriedkov pre základné a stredné školy : Zborník (4.diel). Vyd. 1. Bratislava : SPN, 1984. 104 s.

Zobrazení lze v širším významu chápat jako vizualizaci (angl. visualization). Podle jedné z možných definic je vizualizace „...jakýkoliv postup, při němž vyjadřujeme nějaké hodnoty pomocí obrázků...“<sup>31</sup>. Tollingerová<sup>32</sup> chápe pojem vizualizace jako „proces vyjadřování zpráv pomocí jazyka obrazů“. Obecně lze vizualizaci chápat jako proces vytváření vizuálních produktů určených ke komunikaci.

Vizualizace není vždy definována v takto širokém významu. Podle zvoleného přívlastku pokrývá mnoho dílčích oblastí (vědecká, edukační, informační, znalostní, produktová atp.) Lze konstatovat, že obvykle je pojmem vizualizace spojován s vizualizací dat. Tory a Möller<sup>33</sup> ve svém článku o taxonomii vizualizace chápou vizualizaci jako algoritmus, který přetváří obecná data do vizuální podoby. Tento algoritmus je záměrně volen tak, aby výsledné zobrazení odpovídalo mentálnímu modelu jeho tvůrce.

Kosara<sup>34</sup> ve svém článku podrobuje tuto oblast analýze a zavádí pojem *pragmatická vizualizace*. Touto pragmatickou vizualizací rozumí především vizualizaci vytvořenou za účelem přímé komunikace vizualizovaných dat. Pro skupinu pragmatických vizualizací stanovuje tři základní kritéria:

- Jsou založeny na (nevizuálních) datech. Vizualizace musí zviditelňovat dříve neviditelné.
- Produktem je obraz. Vytvoření obrazu musí být hlavním, nikoliv vedlejším produktem procesu vizualizace.
- Výsledek vizualizace musí být čitelný a rozpoznatelný. Vizuální podoba dat musí zachovat alespoň některé rysy původních dat v čitelné podobě.

Kosara přijímá definici vizualizace jako procesu vytváření obrazů z dat, ale vyčleňuje z této obecné vizualizace množinu vizualizace pragmatické, kterou považuje za „pravou“ vizualizaci.

---

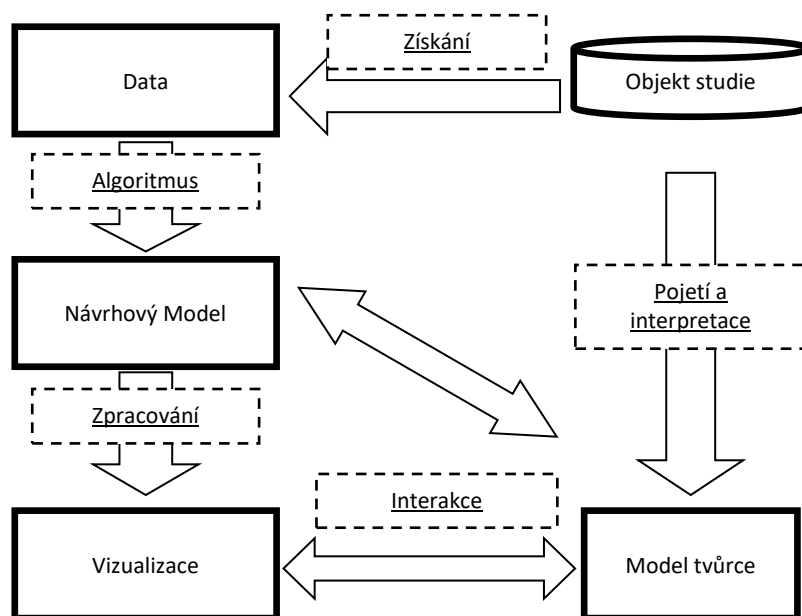
<sup>31</sup> BENEŠ, Bedřich; FELKEL, Petr. Vizualizace. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997. 197 s. ISBN 80-01-01582-3.

<sup>32</sup> TOLLINGEROVÁ, Dana. *Audiovizuální prostředky a jejich psychologické parametry*. In Didaktická technika a pomůcky v socialistické škole. 2. díl, Praha : MŠMT, 1977.

<sup>33</sup> TORY, Melanie; MÖLLER, Torsten. Rethinking Visualization: A High-Level Taxonomy. In *IEEE Symposium on Information Visualization 2004*. Austin, TX : [s.n.], 2004. s. 151 - 158. Dostupné z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.94.2968&rep=rep1&type=pdf>>. ISBN 0-7803-8779-3, ISSN 1522-404X.

<sup>34</sup> Ibidem

Tollingerová<sup>35</sup> ve vztahu k vizualizaci stanovuje *míru vizualizace*. Míra vizualizace, jako ukazatel kvality procesu vizualizace, udává míru schopnosti didaktického obrazu ilustrovat abstraktní pojmy, zprostředkovat abstraktní poznání, umožňovat manipulaci s obrazovými prvky a jejich transformaci.



**Obrázek 1 Model vizualizace podle Kosary (upraveno)<sup>36</sup>**

V případě, že je zobrazování chápáno jako vizualizace, zahrnuje tento pojem v sobě ostatní pojmy (promítání, projekce), které mají užší význam v závislosti na kontextu, ve kterém jsou používány. V této práci bude vizualizace chápána právě v tomto širokém pojetí.

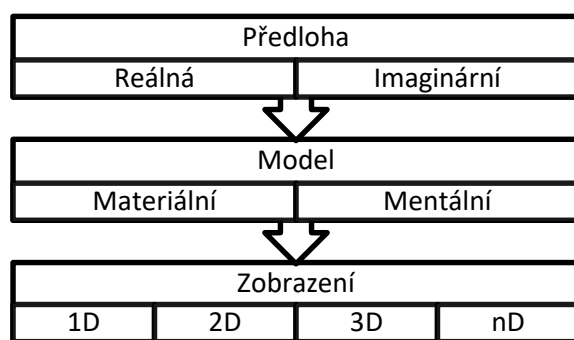
Na základě výše uvedené analýzy je možno definovat zobrazení jako prostředek vizuální komunikace a lze jím tedy označit všechny konstrukty určené pro vnímání zrakem. Zobrazování pak představuje proces vytváření vizuálního konstruktu (zobrazení, obrazu), který slouží jako prostředek vizuální komunikace.

Lze vyslovit domněnku, že při zobrazování je postupováno k výslednému konstruktu (zobrazení) po ose předloha – model – zobrazení. Předlohou zobrazení může být jakákoliv

<sup>35</sup> TOLLINGEROVÁ, Dana. *Audiovizuální prostředky a jejich psychologické parametry*. In *Didaktická technika a pomůcky v socialistické škole*. 2. díl, Praha : MŠMT, 1977.

<sup>36</sup> KOSARA, Robert. Visualization Criticism – The Missing Link Between Information Visualization and Art. In *Information Visualization (IV)*. [s.l.] : IEEE CS Press, 2007. s. 631-636. Dostupné z WWW: <[http://kosara.net/papers/Kosara\\_IV\\_2007.pdf](http://kosara.net/papers/Kosara_IV_2007.pdf)>.

entita podstaty reálné (dům) či imaginární (návrh domu). Tato entita je následně zachycena formou více či méně přesného modelu, který může být umístěn na materiálovém nosiči (fotografický film, prostorové souřadnice v digitální podobě na pevném disku) nebo bez materiálového nosiče ve formě mentálního modelu<sup>37</sup>. Tento model je pak převeden do podoby vnímatelné zrakem za pomoci známého (algoritmus, optická projekce) nebo intuitivního postupu (umělecká tvorba, myšlenková mapa).



**Obrázek 2 Diagram procesu vytváření zobrazení**

Vytvoření modelu z předlohy se děje vědomě, či podle známých pravidel (stereoskopická analýza obrazu, snímání 3D scannerem) nebo intuitivně (vytvoření mentálního modelu na základě poznání skutečnosti nebo představy). Vytvoření zobrazení na základě modelu se děje obdobně vědomě (promítnutí projektorem) či intuitivně (pouze pokud jde o model mentální).

### 3.1.2 Vnímání prostoru

Pojem prostor je v rámci této práce spojen především se subjektivním vnímáním prostoru člověkem. Problematice vnímání prostoru byla věnována pozornost již od starověku. Mezi nejvýznamnější patří práce Aristotela, Euklida, Ptolemaia nebo Galena<sup>38</sup>. Významným způsobem byla evropská věda ovlivněna prací arabského učenice známého jako Alhazen (Muhammad ibn al-Hasan ibn al-Hajtham, nebo též Alhacen)<sup>39</sup>, jehož práce (Kitab alManazir)

<sup>37</sup> Mentální model je v tomto případě myšlen jako model nemateriální, neuchopitelný, nesídlící na žádném materiálním nosiči, nikoliv ve smyslu mentálního modelu, jak je definován v kognitivní psychologii.

<sup>38</sup> ŠIKL, Radovan. Psychologický ústav AV ČR Brno [online]. 2005 [cit. 2011-09-11]. Studium vnímání v historické perspektivě. Dostupné z WWW: <<http://www.psu.cas.cz/~sikl/dejiny.html>>.

<sup>39</sup> Ibn al-Haytham: Encyclopædia Britannica, Inc. *Encyclopædia Britannica* [online]. [s.l.] : Encyclopædia Britannica, Inc., 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.britannica.com/>>. ISBN 1-59339-292-3.

vytvořená přibližně mezi lety 1011 a 1021 byla na konci 12. století přeložena do latiny a ještě v roce 1572 vydána tiskem (pod názvem *Opticae Thesaurus Alhazeni Arabis libri VII*, Poklad optiky od Araba Alhazena v VII knihách)<sup>40</sup>. K dalšímu rozšíření vědomostí o vnímání prostoru dochází v období renesance (práce Keplera, Descarta, Newtona), a to především na poli optiky. V 18. století se objevují první práce spojující disparitu obrazů vnímaných levým a pravým okem s vnímáním hloubky. Poprvé se rovněž objevuje pojem horopter<sup>41</sup>.

Významné objevy v oblasti vnímání prostoru přinesl kolem roku 1830 Charles Wheatstone. Ve svém článku z roku 1838<sup>42</sup> popisuje princip stereoskopu a publikuje několik obrázků (stereogramů) pro vytvoření prostorového vjemu pomocí tohoto zařízení. Později pro své pokusy využil i fotografie.<sup>43</sup>

Za důležité z pohledu vnímání prostoru člověkem lze rovněž označit výzkumy zaměřené na stereogramy tvořené náhodnými body (Random dot stereograms, RDS). Ačkoliv byly známy již dříve, větší pozornost jim ve své práci věnoval především Béla Julesz<sup>44</sup>. V roce 1959 vytvořil stereogram pomocí dvojice matic náhodných bodů. V jedné z matic byly body od původního umístění nepatrně vychýleny. Mezi jeho nejvýznamnější práce patří především *Foundations of Cyclopean Perception* z roku 1971<sup>45</sup>. Julesz ve své práci dokazuje, že vjem hloubky sledovaného obrazu může vzniknout i bez přítomnosti známých tvarů v obraze a není tedy zcela závislý na zkušenosti. Dále bylo dokázáno, že pro vytvoření prostorového vjemu stačí i relativně malá informace (malý počet posunutých bodů)<sup>46</sup>.

---

<sup>40</sup> MALÍŠEK, Vladimír. *4oci.cz* [online]. 28.1.2009 [cit. 2011-09-07]. Alhazen – optik tisíciletí. Dostupné z WWW: <[http://www.4oci.cz/alhazen-optik-tisicileti\\_4c49](http://www.4oci.cz/alhazen-optik-tisicileti_4c49)>.

<sup>41</sup> Horopter (ř. *horos* "hranice" a *optēr* "pozorovatel") je tří-dimenzionální křivka, která obsahuje všechny body, ze kterých bude světlo konvergovat do jednoho obrazu. Platí pro jakýkoli binokulární systém.

<sup>42</sup> WHEATSTONE, Charles: Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* January 1, 1838 vol. 128: pp. 371-394. Dostupné z WWW: <<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>>.

<sup>43</sup> HAYES, John. You see them WITH glasses : A Short History of 3D Movies. In *Wide Screen Movies Magazine* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002, 14 January, 2011 [cit. 2011-08-11]. Dostupné z WWW: <<http://widescreenmovies.org/WSM11/3D.htm>>.

<sup>44</sup> Maďarský neurolog. Žil v letech 1928 až 2003.

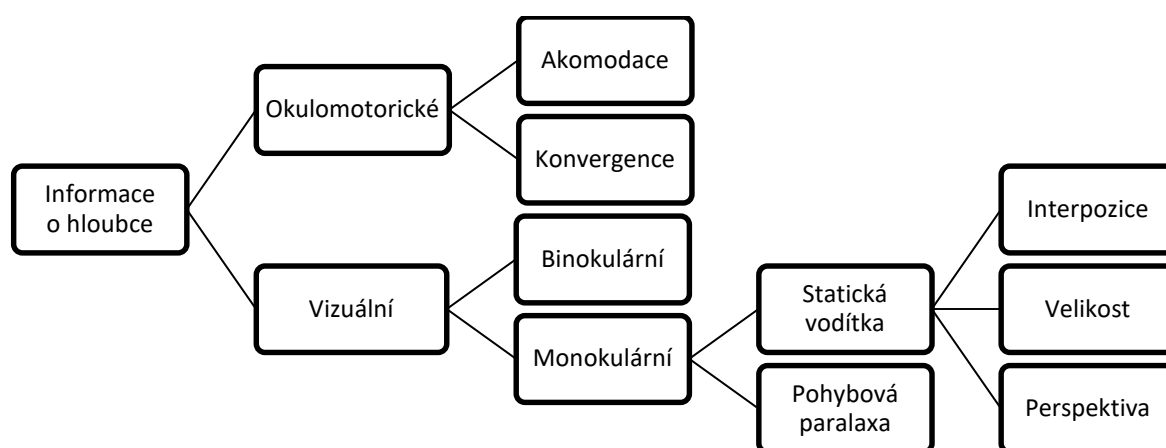
<sup>45</sup> Tato práce byla zařazena na Millennium Project list, který uvádí 100 vědeckých prací s největším dopadem na vědu 20. století.

<sup>46</sup> O'SHEA, Robert P.; BLAKE, Randolph. Depth without disparity in random-dot stereograms. *Attention, Perception & Psychophysics*. 1987, 42, 3, s. 205-214. Dostupný také z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/y386242058046663>>.



Na vnímání prostoru, tedy především vnímání hloubky, je možné nahlížet ze dvou základních pohledů. V prvním případě se jedná o odhad vzdálenosti předmětu od pozorovatele (někdy označované jako odhad absolutní vzdálenosti). V druhém případě jde o odhad vzdálenosti dvou různých předmětů, nebo odhad vzdálenosti dvou částí stejného předmětu (relativní vzdálenost). Schopnost odhadovat relativní vzdálenost je v mnoha případech lepší než odhad vzdálenosti absolutní.<sup>47</sup>

Vnímání prostorové hloubky (tedy třetího rozměru) je komplikovaný proces, na kterém se podílí mnoho podnětů, neboli vodítek, resp. nápověd (viz Obrázek 3). Základní typy informací jsou informace vizuální a okulomotorické. Názory na členění vizuálních podnětů hloubky se různí. Například okulomotorické informace jsou některými autory (Sternberg<sup>48</sup>) řazeny mezi informace binokulární (viz Tabulka 1).



**Obrázek 3 Vnímání hloubky prostoru podle Sekulera (upraveno)<sup>49</sup>**

Okulomotorické informace jsou spojené s prací očních svalů, přesněji jejich dvou základních funkcí, a to akomodace a konvergence. Akomodace je schopnost oka měnit zakřivení čočky podle vzdálenosti pozorovaného předmětu a změnit její ohniskovou vzdálenost. Obraz pozorovaného předmětu tedy dopadá na jediné místo na sítnici a obraz je ostrý. Konvergence (sbíhavost) je schopnost očí natočit oční bulvy tak, aby obraz pozorovaného předmětu dopadal na žlutou skvrnu na sítnici. Na základě zkušenosti a míry akomodace

<sup>47</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 209

<sup>48</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 143

<sup>49</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 209

a konvergence přispívají tyto informace k odhadu absolutní vzdálenosti pozorovaného předmětu. Okulomotorická vodítka jsou efektivní pro odhad vzdálenosti do 6 m, jsou ovšem poměrně nepřesná.<sup>50</sup> Na vnímání hloubky se navíc podílí výrazně méně než ostatní vjemy. Na rozdíl od vědomého vnímání není okulomotorický systém založen na disparitě obrazu na sítnicích<sup>51</sup>.

Vizuální informace o hloubce se dělí na dva typy podnětů: podněty monokulární a podněty binokulární. Monokulární (někdy též nepřímé) podněty je možno pozorovat i pouze jedním okem. Binokulární podněty vznikají na základě zpracování počitků z obou očí<sup>52</sup>.

Binokulární disparita (někdy též sítnicová disparita, angl. retinal disparity) je stěžejní pro relativní odhad vzdálenosti předmětů a je základem stereopsie (angl. stereopsis)<sup>53</sup>. Při prostorovém zobrazování je tedy nutné brát v potaz, jaká vodítka jsou při vytváření zobrazení využívána a v jaké míře mezi nimi dochází k rivalitě (např. okulomotorické vjemy jsou v rozporu s binokulární disparitou). Zásadní roli zde hrají binokulární disparita a pohybová paralaxa, které se na vnímání hloubky podílí v největší míře.<sup>54</sup> Pohybová paralaxu se dále dělí na paralaxu vertikální a horizontální.<sup>55</sup>

Přesnost odhadu hloubky pomocí binokulární disparity (binokulární vodítko) a pohybové paralaxy (monokulární vodítko) je přibližně stejná. Vytvoření této funkční duplicity lze vysvětlit potřebou predátorů odhadovat přesně vzdálenost i v úplném klidu. Většina predátorů má proto oči umístěné na hlavě vepředu, vedle sebe. Naopak mnoho zvířat má oči

---

<sup>50</sup> GRANT, V., W., Accommodation and convergence in visual space perception, *Journal of Experimental Psychology*, 31, 89-104 podle SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 211

<sup>51</sup> WEI, Min; DEANGELIS, Gregory C.; ANGELAKI, Dora E. Do Visual Cues Contribute to the Neural Estimate of Viewing Distance Used by the Oculomotor System?. *The Journal of Neuroscience* [online]. September 10, 2003, 23, 23, [cit. 2011-06-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.jneurosci.org/content/23/23/8340.full.pdf>>. ISSN 1529-2401.

<sup>52</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 144

<sup>53</sup> Stereopsie, neboli prostorové vidění (z řeckého stereo = prostor a oopsis = vidění)

<sup>54</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 221

<sup>55</sup> ROGERS, Brian; GRAHAM, Maureen. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision research*. 1982, vol. 22, 2, s. 261-270. Dostupný také z WWW: <[http://wexhttp://wexler.free.fr/library/files/rogers \(1982\) similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception.pdf](http://wexhttp://wexler.free.fr/library/files/rogers%20(1982)%20similarities%20between%20motion%20parallax%20and%20stereopsis%20in%20human%20depth%20perception.pdf)>. ISSN 0042-6989.

na stranách hlavy z důvodu většího pozorovacího úhlu, s omezenou možností odhadovat vzdálenost pomocí binokulární disparity<sup>56</sup>.

Vnímání hloubky na základě binokulární disparity je důsledkem činnosti specializovaných neuronů v mozku. U malé části populace (přibližně 5 až 10 procent) je ovšem tato schopnost zpracování zrakových počitků nedostatečná. Tato porucha je označována jako prostorová slepota (angl. stereoblindness) a je obvykle důsledkem šilhání (strabismus) v raném věku

**Tabulka 1 Monokulární a binokulární vodítka podle Sternberga<sup>57</sup>**

Monokulární vodítka		
Vodítka pro vnímání prostorové hloubky	Zdá se, že objekt je blíže	Zdá se, že objekt je vzdálenější
Gradienty povrchové struktury	Větší zrnitost ve větších vzájemných vzdálenostech	Menší zrnitost v menších vzájemných vzdálenostech.
Relativní velikost	Větší.	Menší.
Interpozice	Částečně zakrývá jiný objekt.	Je částečně zakryt jiným objektem.
Lineární perspektiva	Pokud se vzdalují od horizontu, pak se zřejmě souběžné linie jeví jako vzájemně divergující.	Pokud se blíží k horizontu, pak se zřejmě souběžné linie zdají vzájemně konvergovat.
Vzdušná perspektiva	Obrazy objektů se zdají jasnější, mají zřetelnější obrysy.	Obrazy objektů se zdají neurčitější, jejich obrysy jsou méně zřetelné.
Umístění v rovině obrazu	Objekty pod horizontem jsou níže, objekty nad horizontem jsou v rovině obrazu výše	Objekty pod horizontem jsou v rovině obrazu výše, objekty nad horizontem jsou níže.
Pohybová paralaxa	Objekty, které se přibližují, se stále rychleji zvětšují (tj. větší, zvětšující se nebo pohybující se větší úhlovou rychlostí = blíží)	Objekty, které se vzdalují, se stále rychleji zmenšují (malý, zmenšující se nebo pohybující se malou úhlovou rychlostí = vzdálenější).
Binokulární vodítka		
Vodítka pro vnímání prostorové hloubky	Zdá se, že objekt je blíže	Zdá se, že objekt je vzdálenější
Binokulární konvergence	Oči se stáčí ke špičce nosu.	Každé oko se stáčí k uchu své strany.
Binokulární disparita	Velký rozdíl mezi tímž obrazem viděným levým okem a pravým okem.	Nepatrná diskrepance mezi tímž obrazem viděným levým okem a pravým okem.

<sup>56</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 235

<sup>57</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 145

a dalších zrakových vad, jelikož mozek nedostává korespondující informace z levého a pravého oka a nedojde k dostatečnému rozvoji příslušných mozkových center.<sup>58</sup>

Schopnost vnímat hloubku obrazu lze pozorovat již u dětí v novorozeném období. V tomto období dokážou děti reagovat obranným reflexem na přibližující se předmět. Na větší předmět ve větší vzdálenosti (shodná sítnicová velikost obrazu předmětu), nebo na předmět nesměřující v jejich směru nereagují. Schopnost vnímat hloubku obrazu je vrozená.<sup>59</sup>

### 3.1.3 Prostředek

Prostředek (mean, tool<sup>60</sup>) je v obecné rovině definován jako „předmět (pomůcka, zařízení, opatření apod.) k provádění nějakého cíle“<sup>61</sup>. Tímto nástrojem je možno rozumět nejen prostředky fyzické, ale i softwarové, tedy použité postupy a algoritmy a jejich kombinace. V případě prostředků prostorového zobrazování je prostředkem míněno technologické řešení, kterým je dosaženo prostorového zobrazení<sup>62</sup>.

V oblasti didaktiky je definice pojmu prostředek vztahována k oblasti vzdělávání. Pojem prostředek se užívá nejčastěji ve spojení didaktický prostředek. Skalková<sup>63</sup> definuje didaktické prostředky jako *všechny materiální předměty, které zajišťují, podmiňují a zefektivňují průběh vyučovacího procesu*. Rambousek vychází při definici výukových prostředků z definice vyučovacího procesu, jako procesu transformace cílových struktur do vědomí, chování a jednání žáků, tj. proces dosahování cílů. Rambousek definuje didaktický prostředek takto: *„Didaktickým prostředkem (prostředkem výuky) pak rozumíme v podstatě vše, co k dosažení cílů vyučovacího procesu napomáhá, z těchto cílů vychází a je jimi určováno“*.<sup>64</sup>

---

<sup>58</sup> Ibidem

<sup>59</sup> LANGMEIER, Josef; KREJČÍŘOVÁ, Dana. *Vývojová psychologie*. 3. vyd. Praha : Grada publishing, spol. s r. o., 1998. 343 s. ISBN 80-7169-195-X.

<sup>60</sup> Slovo prostředek lze překládat v mnoha významech. V tomto místě je slovo prostředek chápáno ve smyslu nástroj. Častěji se vyskytuje ve spojení educational means, technical means, případně educational tools, technical tools apod.

<sup>61</sup> Prostředek: Slovník spisovné češtiny pro školu a veřejnost. Vydání 2., opravené a doplněné. Praha : Academia, 2001. 647 s. ISBN 80-200-0493-9.

<sup>62</sup> Blíže viz Kapitola 3.2 Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování

<sup>63</sup> SKALKOVÁ, Jarmila. *Obecná didaktika : 2., rozšířené a aktualizované vydání*. Dotisk 1.,. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 322 s. ISBN 978-80-247-1821-7., str. 249

<sup>64</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str.13

Tradiční klasifikací didaktických prostředků je jejich dělení na materiální a nemateriální didaktické prostředky. Pedagogický slovník<sup>65</sup> definuje materiální didaktické prostředky (MDP) jako „*takové didaktické prostředky, které jsou materiální povahy. Jedná se o předměty (soubory předmětů), sloužící k didaktickým účelům, to znamená, že působí ve spojení s obsahem nebo metodami a formami ve směru dosažení stanovených cílů vyučovacího procesu přímo, nebo pro toto působení vytvářejí vhodné podmínky*“. Za představitele oblasti nemateriálních prostředků je třeba pokládat především didaktické metody a formy vyučování a učení. Do skupiny materiálních didaktických prostředků spadají např. učební pomůcky nebo zařízení.

Rambousek<sup>66</sup> dále dělí MDP podle těsnosti vazby s obsahem, metodami a formami vyučovacího procesu na tyto dílčí kategorie:

- Učební pomůcky
- Metodické pomůcky
- Zařízení
- Didaktická technika
- Školní potřeby
- Výukové prostory

Zvláště významnou pozici v tomto dělení zaujímají učební pomůcky. Učební pomůcky jsou takové materiální didaktické prostředky, které k účinnějšímu dosahování cílů výuky přispívají svými didaktickými funkcemi. Na rozdíl od převážně nepřímého působení ostatních prvků systému materiálních didaktických prostředků působí pomůcky na učební činnosti žáka ve shodě se stanovenými cíli a v těsném vztahu k metodě a formě práce přímo a bezprostředně. Učební pomůcky jsou tedy materiální didaktické prostředky s vysokou mírou didaktické relevance, které mají po zařazení do struktury výuky přímý a bezprostřední vztah k obsahu dané výuky. Rambousek<sup>67</sup> je dále dělí na dílčí kategorie:

---

<sup>65</sup> PRŮCHA, Jan; WALTEROVÁ, Eliška; MAREŠ, Jiří. *Pedagogický slovník*. 4., aktualiz. vyd. Praha : Portál, 2003. 322 s. ISBN 80-7178-772-8.

<sup>66</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 15

<sup>67</sup> Ibidem, str. 20

### 1. Originální předměty a reálné skutečnosti

- přírodniny - v původním stavu (minerály, rostliny apod.) - upravené (preparáty, vycpaniny, výbrusy, apod.)
- výrobky a výtvary - v původním stavu (přístroje, umělecká díla apod.) - upravené (sady a soubory vzorků, stroje v řezu apod.)
- jevy a děje - povahy fyzikální, chemické, biologické, sociální aj.
- zvuky - reálné zvuky, hlasové a hudební projevy

### 2. Zobrazení a znázornění předmětů a skutečností

- modely - statické, funkční, stavebnicové, plošné apod.
- zobrazení
  - prezentovaná přímo (obrazy, fotografie, diagramy aj.)
  - prezentovaná prostřednictvím technických prostředků (staticky, dynamicky, interaktivně, virtuálně, 3D apod.)
- zvukové záznamy

### 3. Textové pomůcky tištěné či digitální

- učebnice - klasické, pracovní, programované, interaktivní
- pracovní materiály - slovníky, tabulky, sbírky úloh, atlasy atd.
- doplňková a pomocná literatura a informační zdroje

### 4. Pořady a programy prezentované (realizované) technickými prostředky

- pořady - výukové filmy, rozhlasové a televizní pořady apod.
- programy - informační, tutorské, repetiční, examinační aj. počítačové programy

### 5. Speciální pomůcky

- žákovské experimentální soupravy, stavebnice, zaměstnávající pomůcky aj.

Z pohledu určení didaktických specifíků prostorového zobrazování je významná též kategorie didaktické techniky, neboť použití didaktických pomůcek v procesu výuky je v případě prostorového zobrazování téměř vždy závislé na použití této techniky a do procesu výuky vstupují společně<sup>68</sup>. Rambousek spatřuje hlavní funkci didaktické techniky v adekvátní

---

<sup>68</sup> Příkladem provedení učební pomůcky využívající prostorového zobrazování a nevyžadující k prezentaci didaktickou techniku jsou některé typy hologramů.

prezentaci učebních pomůcek, jež jiným způsobem prezentovat nelze, ať již tato prezentace zahrnuje průběžné vytváření, vyvíjení či získávání pomůcky, nebo se jedná o vybavování či reprodukci pomůcky fixované na příslušném materiálovém nosiči.<sup>69</sup>

Prostředky didaktické techniky jsou definovány jako vhodně vybrané, upravené nebo speciálně vyvinuté přístroje a zařízení využívané k didaktickým účelům, zvláště k prezentaci (umocnění prezentace, realizaci) učebních pomůcek a optimalizaci navozování, řízení a kontroly učebních činností žáků. Na rozdíl od učebních pomůcek není didaktická technika obsahem výuky primárně ovlivňována; nevztahuje se k obsahu přímo, ale prostřednictvím „didaktických náplní“ (pomůcek), které umožňuje prezentovat (vytvářet, vybavovat, reprodukovat) nebo získávat, zpracovávat a vhodně výukově využívat. Pro vyčlenění základních skupin prostředků didaktické techniky lze aplikovat hledisko funkčně technických celků, systém strukturovaný podle základních druhů přístrojů a zařízení a převládajícího způsobu jejich využití:

1. Zařízení pro nepromítaný záznam (záznamové plochy, tabulové konstrukce) – zařízení umožňující výukové aplikace vytvářených, vyvíjených, hotových nebo kombinovaných nepromítaných záznamů.
2. Projekční technika umožňující optické zobrazení předloh a dat na promítací plochu. Skupina se klasicky dělí na zařízení statické projekce, na zařízení dynamické projekce a na zařízení data a video projekce.
3. Zvuková technika. Mezi její představitele patří různá zařízení, sloužící ke snímání zvuku, jeho zpracování, záznamu, přenosu a reprodukci.
4. Videotechnika a prezentační technika. Jedná se o soubor přístrojů a zařízení, jehož účelem je snímání, zpracování, záznam a reprodukce analogového nebo digitálního videosignálu, např. kamery a záznamové kamery, vizualizéry či videokonferenční systémy.
5. Počítače a počítačové systémy včetně specializovaných periférií.
6. Interaktivní technika zahrnuje různé interaktivní monitory, displeje, plochy a tabule.

---

<sup>69</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 28

7. Prostředky pro poskytování zpětné vazby systémy a soustavy poskytující okamžitou a hromadnou vnější zpětnou vazbu.
8. Řídicí systémy, pomocná a produkční zařízení usnadňují práci s didaktickou technikou nebo zabezpečují její optimální využití a působení.

Nezbytným realizačním předpokladem optimálního výukového využití pomůcek vyžadujících ke své prezentaci didaktickou techniku je právě její spojení s příslušným technickým prostředkem. Didaktická technika na straně jedné a pomůcky, které umožňuje prezentovat či realizovat, tak představují organické součásti komplexních prostředků, pro jejichž označení se užívá název technické výukové prostředky. Technické výukové prostředky tedy představují funkční spojení určitého prostředku didaktické techniky s příslušnou pomůckou v dané výukové situaci, tj. jednotu vzájemně se podmiňující technické a programové složky tohoto prostředku plnícího jistou výukovou funkci<sup>70</sup>.

#### **3.1.4 Prostředek prostorového zobrazování**

Na základě výše uvedeného terminologického přehledu lze učinit pokus o vymezení pojmu prostředek prostorového zobrazování z obecného hlediska: Prostředky prostorového zobrazování produkují zobrazení, jehož cílem je komunikovat informaci o prostorovém uspořádání zobrazovaného modelu, tedy jeho výšku, šířku a hloubku a vyvolávají u diváka pocit vnímání hloubky.

Zkratku 3D však nelze obecně považovat za synonymum pojmu prostorový. Zkratka 3D, tedy tří-dimenzionální, vyjadřuje schopnost takto označené technologie pracovat se třemi dimenzemi. Tři dimenze nemusí vždy představovat polohu v prostoru a třídimenzionální tedy nemusí nutně znamenat prostorový. Například u počítačových her označovaných jako 3D nelze při zobrazení na běžném displeji hovořit o prostorovém zobrazení. Protože tyto technologie podporují monokulární vodítka vnímání prostorové hloubky, jsou někdy označovány jako 2.5D a představují technologickou skupinu označovanou jako nepravé prostorové zobrazování. Za pravé prostorové zobrazení lze považovat pouze takové zobrazení, u něhož je navozována binokulární disparita.

---

<sup>70</sup> Ibidem, str. 24



Některé prostředky a technologie jsou označovány jako stereoskopické (např. aktivní a pasivní stereoskopická projekce). Pojem stereoskopie je v řadě případů spojován pouze s prostorovým zobrazením (aktivní a pasivní stereoprojekce, aktivní a pasivní stereoskopie), kterého je dosahováno za pomoci dvojice separovaných obrazů (v této práci označováno jako paralaktické zobrazení). Stereoskopické ovšem doslova znamená právě viděno prostorově (z řeckého „στερεό“ (*stereo*) = prostor + „σκοπέω“ (*skopeō*) = vidět). Vzhledem k tomuto zjevně nesprávnému zúžení původního významu a dlouhodobému zakotvení pojmu stereoskopie v odborné literatuře se jeví jako nevhodné označovat jím celou skupinu prostředků prostorového zobrazování. V této práci nebude používán pro označení skupin technologií využívajících právě jedné dvojice separovaných obrazů pojem stereoskopické zobrazení, ale pojem paralaktické zobrazení, pro zdůraznění podstaty vzniku vjemu vnímání prostoru u těchto technologií.

Prostředky prostorového zobrazování jsou často spojovány s virtuální realitou. Samotný pojem virtuální realita se nejdříve objevuje v krásné literatuře<sup>71</sup> a přibližně v 90. letech 20. století se stává označením pro systémy, které „*dovolují uživateli ponořit se do trojrozměrného, interaktivního, počítačově generovaného světa, světa, který je schopen reagovat na přítomnost uživatele a jeho činnosti*“.<sup>72</sup> Je možno konstatovat, že vývoj systémů virtuální reality byl primárně soustředěn na vizuální percepci a snaha o co nejvěrnější napodobení reality vedla k prostorovému zobrazování. Kromě vizuální percepce se vývoj systémů virtuální reality zaměřuje i na ovlivňování dalších smyslů (hmat, čich, sluch). Systémy virtuální reality často využívají prostorové zobrazování pro dosažení vizuální imerze, nelze však říci, že každé prostorové zobrazení je snahou o vytvoření virtuální reality. Pro virtuální realitu je stěžejní pocit „přítomnosti“ ve virtuálním prostředí, kterého je možné dosáhnout i pomocí plošného zobrazení<sup>73</sup>.

---

<sup>71</sup> ARTAUD Antonin, "The Alchemical Theater", in *The Theater and its Double*, trans. Mary Caroline Richards, New York: Grove Press, 1958, str. 49

<sup>72</sup> IERONUTTI, Lucio; CHITTARO, Luca. Employing virtual humans for education and training in X3D/VRML worlds. *Computers & Education* [online]. 2007, Vol. 49, Issue 1, [cit. 2011-09-02]. Dostupný z WWW: <[http://hcilab.uniud.it/publications/2004-13/EmployingVirtualHumans\\_LET-WEB3D04.pdf](http://hcilab.uniud.it/publications/2004-13/EmployingVirtualHumans_LET-WEB3D04.pdf)>. ISSN 0360-1315.

<sup>73</sup> ROUSSOU, Marria. Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum. *Proc. of TiLE (Trends in Leisure Entertainment)* [online]. 2001, [cit. 2011-09-11]. Dostupný z WWW:

Z hlediska didaktického lze v širším záběru pojmu za prostředek prostorového zobrazování považovat širší spektrum materiálních didaktických prostředků. Mezi prostředky prostorového zobrazování tak lze zahrnout jak fyzické prostorové modely nebo prostorová zobrazení (učební pomůcky), tak i některé typy projekční techniky i různá specializovaná zařízení pro realizaci daných prostorových zobrazení (oblast prostředků didaktické techniky a zařízení). Z hlediska zaměření této práce bude z oblasti materiálních didaktických prostředků pozornost věnována pouze technickým výukovým prostředkům založeným na funkčním spojení příslušného prostředku prostorového zobrazování a zobrazovaného modelu (předlohy). V daném užším pojetí pojmu je možné za prostředek prostorového zobrazování považovat primárně příslušné technické zařízení určené k odbavování příslušných předloh a realizaci prostorového zobrazení jako učební pomůcky. Za technický výukový prostředek lze v tomto pojetí považovat prostorovou projekci. V závislosti na svých specifických funkčně – technologických vlastnostech se takovéto jednotlivé technické výukové prostředky liší charakterem, šíří a možnostmi didaktického působení.

### 3.2 Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování

Prostředky prostorového zobrazování představují velmi širokou množinu technologických řešení (neboli technologií<sup>74</sup>), často experimentálních. V případě prostorového zobrazování se jedná o kombinaci obecných materiálních, hardwarových a softwarových prostředků a postupů nutných pro vytvoření výsledného zobrazení. Při vnímání hloubky prostoru je pro člověka nejsilnějším vodítkem binokulární disparita<sup>75</sup>. Pokud má být umělým způsobem dosaženo plnohodnotného vjemu hloubky, musí být právě tato disparita u diváka navozena. Technologie, které produkují zobrazení, které vytváří na sítnicích disparitní obrazy, jsou proto v této práci zařazeny do kategorie **pravého prostorového zobrazení**. Pokud je prostorového zobrazení dosahováno pouze za pomoci monokulárních vodítek, jsou tyto technologie označovány jako **nepravé prostorové zobrazení**.

---

<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=6A740F789EEB419492FB43A9E7247D9D?doi=10.1.1.8.6469&rep=rep1&type=pdf>>.

<sup>74</sup> Technologie (angl. technology) řecky τεχνολογια<τεχνη „dovednost“ + λογος „slovo, nauka, znalost“ + přípona ια. Dle *The American Heritage® Dictionary of the English Language* [online]. Fourth Edition. [s.l.] : Houghton Mifflin Company, 2000, 2009 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.thefreedictionary.com>>.

<sup>75</sup> Podrobněji v kapitole 3.1.2 Vnímání prostoru

### 3.2.1 Nepravé prostorové zobrazení

O skupině technologií, které jsou v této práci zahrnuty do skupiny nepravé prostorové zobrazení lze v současnosti (2011) hovořit jako o nejrozšířenější formě zobrazování, která je zřejmě nesprávně označována za zobrazování prostorové. Technologie spadající do této kategorie využívají obecně pro zobrazení dvojrozměrné plochy, přičemž při zobrazení vychází z trojrozměrného (resp. prostorového) modelu. Za prostorové zobrazení nelze považovat například běžnou fotografii, neboť ta je vytvořena na základě modelu reality, který má pouze dvojrozměrnou podobu (negativ) a nelze z ní jednoznačným způsobem reprodukovat původní trojrozměrnou skutečnost.

Naopak za nepravé prostorové zobrazení lze považovat zobrazení trojrozměrného modelu pomocí geometrické transformace ve formě dvojrozměrného obrazu. Tímto způsobem je běžně tvořen obraz produkovaný grafickými kartami osobních počítačů a je možné se s ním setkat například v počítačových hrách, CAD aplikacích, filmovém průmyslu a v dalších oblastech.

Jelikož k transformaci třetího rozměru dochází až v okamžiku přeměny modelu v zobrazení, je možno s původním modelem do značné míry manipulovat a využít tak pro posílení subjektivně vnímané hloubky obrazu například vliv pohybové paralaxy. Tento způsob vytváření obrazu je někdy označován jako 2.5D<sup>76</sup>.

Lze říci, že nepravé prostorové zobrazení v důsledku absence binokulární disparity podává divákovi stejnou informaci při sledování jedním i dvěma očima.

### 3.2.2 Percepční charakteristika prostorového zobrazení

Percepční charakteristiky lze považovat za jeden nejvýznamnějších aspektů hodnocení prostředků prostorového zobrazování, která popisuje podstatné vlastnosti prostorového zobrazení z pohledu jeho vnímání divákem (případně diváky), bez ohledu na zobrazovaný model<sup>77</sup>. Percepční charakteristiky obvykle vycházejí z technologické podstaty zobrazení a jsou tudíž pro danou technologii do značné míry neměnné, případně obtížně změnitelné.

---

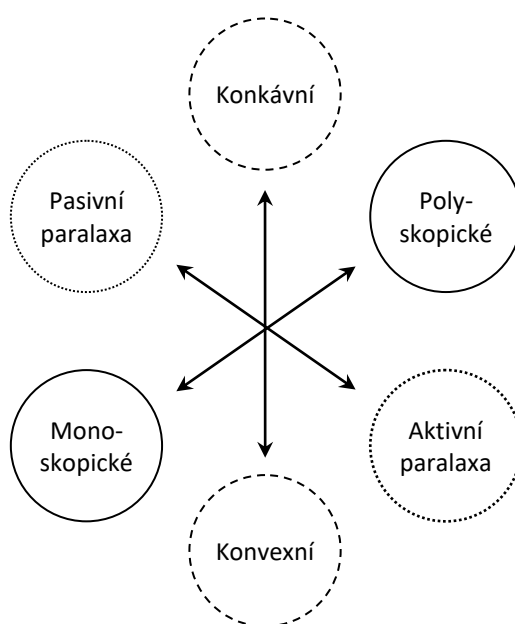
<sup>76</sup> FURNESS, Thomas A; WINN, William; YU, Rose. *Human Interface Technology Lab* [online]. 1998 [cit. 2011-06-19]. The Impact of Three Dimensional Immersive Virtual Environments on Modern Pedagogy. Dostupné z WWW: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-32/>>.

<sup>77</sup> Modelem zde rozumíme záznam, ze kterého je vytvářeno viditelné zobrazení. Model může být v digitální (např. soubor souřadnic a dalších informací) i fyzické podobě (např. filmový či fotografický záznam).

V této práci jsou navrhovány celkem tři percepční osy, které vymezují jednotlivé percepční kategorie.

### Počet diváků

Z pohledu počtu diváků lze rozlišit dvě základní možnosti sledování prostorového zobrazení: **monoskopické** (určené pro jednoho diváka) a **polyskopické** (určené pro více diváků). V některých případech je možnost sledování zobrazení pouze jedním divákem diskutabilní. Přestože zobrazení lze vzhledem k jeho povaze sledovat více diváky najednou, nelze takový způsob sledování v praxi uplatnit, například z důvodů rozměrů zobrazení. Za monoskopické technologie jsou proto považovány takové, které jsou primárně určeny pro jednoho diváka, nebo je sledování jimi produkovaného obrazu více diváky zcela nemožné. Pokud je daná technologie monoskopická, je často zobrazení vytvářeno podle aktuální polohy diváka a není tedy možné, aby současně sledoval tento obraz v dostatečné kvalitě někdo jiný.



Obrázek 4 Osy percepčních charakteristik prostorového zobrazování

Pokud může sledovat prostorové zobrazení více diváků najednou, je jejich výsledný vjem zobrazení ovlivněn schopností daného prostorového zobrazení zprostředkovat aktivní pohybovou paralaxu (viz níže). Pokud je prostorové zobrazení schopno poskytnout aktivní pohybovou paralaxu více divákům najednou, pak každý divák získává do určité míry unikátní, nijak nezkreslený pohled na prostorové zobrazení.

### *Aktivní a pasivní pohybová paralaxa*

Pohybová paralaxa je druhým nejsilnějším vodítkem pro vnímání hloubky<sup>78</sup> a lze souhlasit s názorem, že je velmi významná při přibližování vnímání prostorového zobrazení reálnému počítku. Pohybovou paralaxu lze vnímat i v případě nepravého prostorového zobrazení.<sup>79</sup> Pohybová paralaxa může vznikat v důsledku pohybu pozorovatele nebo důsledku pohybu pozorovaných objektů<sup>80</sup>.

Pohybová paralaxa navozená změnou pozorovaného zobrazení při konstantní pozici diváka vůči zobrazení je v této práci označována jako *pasivní paralaxa*. Jako *aktivní paralaxa* je v této práci označována paralaxa vyvolaná fyzickou změnou pozice diváka vůči zobrazení, přičemž je divákem vnímána změna pohledového místa na zobrazovaný model.

### *Forma prostorového zobrazení*

Forma charakterizuje zobrazení z pohledu subjektivně vnímané pozice diváka vůči zobrazení a subjektivně vnímaný rozsah tohoto zobrazení.

Forma se v závislosti na technologii může měnit od konvexní, přes rovinnou, až po konkávní. Subjektivní vjem ze zobrazení lze analogicky popsat jako „křišťálovou kouli“ (konvexní), „okno“ (rovinné) a „pokoj“ (konkávní). Konvexnost zobrazení může, ale nemusí souviset s fyzickým tvarem zobrazovače<sup>81</sup>.

Pojmy popisující křivost (konvexní/konkávní) se jeví být v tomto případě terminologicky výhodné, ačkoliv zde dochází k posunu vůči jejich původnímu významu. Jako konvexní (latinsky *convexus* vypouklý, vypuklý) se označují (například v matematice nebo optice)

---

<sup>78</sup> ROGERS, Brian; GRAHAM, Maureen. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision research*. 1982, vol. 22, 2, s. 261-270. Dostupný také z WWW: <[http://wexler.free.fr/library/files/rogers \(1982\) similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception.pdf](http://wexler.free.fr/library/files/rogers%20(1982)%20similarities%20between%20motion%20parallax%20and%20stereopsis%20in%20human%20depth%20perception.pdf)>. ISSN 0042-6989.

<sup>79</sup> Jedná se o monokulární vodítko pro vnímání hloubky, viz kapitola 3.1.2 Vnímání prostoru

<sup>80</sup> SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s., str. 232

<sup>81</sup> Např. v případě HMD zařízení je obraz obvykle vytvářen rovinnými LCD, ale subjektivní pocit diváka je, že je „obklopen“ zobrazením. Naproti tomu např. v kinech IMAX je používáno panoramatické vyduuté plátno a obraz skutečně „fyzicky“ obklopuje diváka.

takové formy (plochy, křivky), které jsou vyklenuté směrem ven. Jako konkávní (latinsky *concavus*, vydutý) pak formy vyduté směrem dovnitř<sup>82</sup>.

Z hlediska subjektivně vnímaného rozsahu zobrazení lze hovořit především o dvou extrémech této percepční osy: **úplné konvexní** a **úplné konkávní** zobrazení. Při úplném konvexním zobrazení by divák mohl sledovat model zobrazený v pomyslné „křišťálové kouli“ ze všech stran, tedy z libovolného horizontálního i vertikálního úhlu. Při úplném konkávním zobrazení by se divák mohl podívat do libovolného vertikálního i horizontálního směru, nacházel by se „uvnitř“ pomyslné koule.

Posun po této percepční ose sleduje podíl zaujímaný zobrazením na celkovém vizuálně percepčním poli diváka. Při úplném konkávním zobrazení pokrývá zobrazení tento prostor celý.

### 3.3 Prostředky prostorového zobrazování

V současné době (2011) lze vysledovat několik základních způsobů vytváření prostorových zobrazení. Přestože stále vznikají nové technologie prostorového zobrazování, snaží se tato práce přinést přehled těch technologických principů a konkrétních řešení, která mají potenciál stát se v dohledné době součástí běžného vybavení škol, nebo jsou již v praxi používány.

Každý z níže popisovaných principů vytváření prostorového zobrazení je realizován velkým množstvím konkrétních technologií, které přináší větší či menší možnosti jejich využití ve vzdělávání. Principiální základ vytváření prostorového zobrazení je ale pro každou z nich z pohledu možné aplikace určující.

Cílem této práce není přinést vyčerpávající přehled prostředků prostorového zobrazování. Konkrétní prostředky prostorového zobrazování uvedené v této kapitole ilustrují společné vlastnosti jednotlivých metod prostorového zobrazování a vymezují jejich limity s ohledem na jejich praktickou aplikaci ve výuce.

---

<sup>82</sup> Convex, Concave: *The American Heritage® Dictionary of the English Language* [online]. Fourth Edition. [s.l.] : Houghton Mifflin Company, 2000, 2009 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.thefreedictionary.com>>.

### 3.3.1 Historie

Věrné zachycení prostoru, tak jak je vnímán člověkem, je dlouhodobým cílem lidského snažení a pokusy o něj se objevují například již v antice. Imerzivní imitační obrazové prostory lze sledovat například na zachovalých freskách ve Vile Mystérií nedaleko Pompejí. Divák je obklopen zobrazením, které má u něj vyvolat pocit imerze a účasti na zobrazovaných dějích.<sup>83</sup>

Významným krokem v zachycení prostoru v zobrazeních je využití principu perspektivního zobrazení (Albertiho okno, perspektivní zkratka).<sup>84</sup> Perspektiva se objevuje v uměleckých dílech rovněž již v antické kultuře, ale spolu s jejím úpadkem dochází i k pozastavení rozvoje perspektivy jako nástroje věrného zobrazení prostoru. K obnově snah o realistické ztvárnění dochází opět až v pozdní gotice a renesanci.<sup>85</sup>

Za počátek prostorového zobrazování lze považovat až objev stereogramu. Metody zachycení prostoru, které předcházely vynálezu stereogramu, využívaly pouze monokulární vodítka vnímání hloubky<sup>86</sup>. Stereogram a přístroj na jeho sledování stereoskop (objeven v roce 1838<sup>87</sup>) předurčil vývoj prostředků prostorového zobrazování na téměř jedno století, a to především ve spojení s objevem fotografie a později filmu. Paralaktické technologie se staly jediným prostředkem prostorového zobrazování až do poloviny 20. století.

Dalším důležitým mezníkem v prostorovém zobrazování byl rovněž rozvoj zobrazovací a televizní techniky v 50. letech 20. století (především systémy využívající zobrazování pomocí elektronového děla – CRT), který vedl například k vytvoření jednoho z prvních systémů pro přímé zobrazení v prostoru<sup>88</sup> nebo televizní přenos prostorového zobrazení založený na principu anaglyfu.

---

<sup>83</sup> GRAU, Oliver. *Virtual art : From illusion to immersion*. [s.l.] : MIT, 2003. 408 s. Dostupný z WWW: <[http://books.google.cz/books?id=7OYaXjE5\\_lcC&pg=PA1&dq=From illusion to immersion&pg=PA1#v=onepage&q&f=false](http://books.google.cz/books?id=7OYaXjE5_lcC&pg=PA1&dq=From+illusion+to+immersion&pg=PA1#v=onepage&q&f=false)>. ISBN 0-262-57223-0.

<sup>84</sup> KUBOVY, Michael; TYLER, Christopher. *Psychology of perspective and renaissance art* [online]. 2006 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/index.html>>.

<sup>85</sup> HYKŠ, Oldřich. *Zrod a užití lineární perspektivy v malířství* [online]. 2005 [cit. 2011-09-12]. Předrenesanční zobrazování prostoru. Dostupné z WWW: <[http://euler.fd.cvut.cz/predmety/geometrie/lp\\_malirstvi/](http://euler.fd.cvut.cz/predmety/geometrie/lp_malirstvi/)>.

<sup>86</sup> Viz kapitola 3.1.2 Vnímání prostoru

<sup>87</sup> PHILLIPS, Del. *A Visual History of the Stereoscope* [online]. 2006 [cit. 2011-08-03]. Dostupné z WWW: <<http://home.centurytel.net/s3dcor/>>.

<sup>88</sup> Viz kapitola 3.3.4 Přímé zobrazení v prostoru

Ve 30. letech 20. století byly vynalezeny dostatečně kvalitní levné polarizační filtry, které umožnily plně barevnou prostorovou filmovou projekci (barevný film byl ovšem objeven až později v roce 1935).

První větší rozšíření prostorového zobrazování nastalo krátce po objevu stereoskopu v Evropě a především v Severní Americe a to ve dvou vlnách. Nejdříve po roce 1860 a později mezi lety 1880 až 1910. V tomto období je možné vypočítovat také první snahy o didaktické využití prostorového zobrazování (ovlivněné dílem Johna Deweye), jako prostředníka poznání světa skrze zkušenost.<sup>89</sup>

V této době dochází rovněž k rozvoji filmové techniky, ale přestože se objevovaly ojedinělé pokusy o prostorovou filmovou projekci, éra filmů s prostorovým zobrazením (formou anaglyfického záznamu) začíná až ve 20. letech 20. století. Prvním skutečným prostorovým filmem byl film *Síla lásky* (*The Power of Love*, od Harry K. Fairalla). Kromě anaglyfického zobrazení byly souběžně zkoušeny i jiné systémy (například elektromechanický – Teleview vynálezce Laurence Hammonda a Williama F. Cassidiho)<sup>90</sup>.

Zajímavou kapitolou ve vývoji prostorového zobrazování jsou pokusy a realizace prováděné v Sovětském svazu mezi lety 1936 až 1955, především pod vedením inženýra Semyonova Pavloviče Ivanova. Ivanov pracoval nejdříve se systémy s optickou bariérou (drátěný rastr) a později s plátnem s lentikulárním povrchem. V této době se prostorový film (dobově označovaný jako plastický film) rozvíjí i v Československu a vrcholí otevřením prvního stereoskopického kina v Praze.<sup>91</sup>

Větší pozornost byla věnována prostorovému filmu v 50. letech 20. století (někdy též nazývána zlatá éra stereoskopického filmu). Prostorový film měl být řešením klesající návštěvnosti kin v důsledku rozšíření televize<sup>92</sup>. Toto období je krátké a končí kolem roku

---

<sup>89</sup> STAPLES, Shelley. *American Studies (University of Virginia)* [online]. 2002 [cit. 2011-08-03]. The Stereoscope in America. Dostupné z WWW: <<http://xroads.virginia.edu/~MA03/staples/stereo/home.html>>.

<sup>90</sup> HAYES, John. You see them WITH glasses : A Short History of 3D Movies. In *Wide Screen Movies Magazine* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002, 14 January, 2011 [cit. 2011-08-11]. Dostupné z WWW: <<http://widescreenmovies.org/WSM11/3D.htm>>.

<sup>91</sup> BARAN, Ludvík, et al. *Film a filmová technika*. Vydání první. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1974. 356 s.

<sup>92</sup> BORDWELL, David – THOMPSON, Kristin (2007): *Dějiny filmu. Přehled světové kinematografie*. Praha: Akademie múzických umění v Praze – Nakladatelství Lidové noviny. podle FRODLOVÁ, Tereza. *Za hranicí*



1955 a během něj vznikají klasická díla prostorového filmu, jako jsou *Bwana Devil*, *Man in the Dark*, *House of Wax* a další<sup>93</sup>.

Dlouhodobější uplatnění některé z technologií prostorového zobrazování nastává až s příchodem společnosti IMAX, která působí na trhu imerzivní filmové technologie od roku 1970 (k 31. březnu 2011 provozuje IMAX 528 kin)<sup>94</sup>. Postupně byly společnostmi IMAX využívány různé systémy prostorové projekce (pasivní i aktivní). Od roku 2010 je v kinech IMAX nasazován digitální projekční systém založený na technologii DLP.<sup>95</sup>

Poslední boom prostorového zobrazování byl zahájen uvedením filmu *Avatar*<sup>96</sup> režiséra Jamese Camerona v roce 2009. Klíčovými aspekty pro úspěch tohoto díla byly dokonale zvládnutá technologie pořizování filmového záznamu pro paralaktické zobrazení a propojení s CGI (Computer-Generated Imagery). Na komerční úspěch filmu a poptávku po technologiích prostorového zobrazování zareagovali výrobci domácí elektroniky (4,2 milionů prodaných 3D televizorů<sup>97</sup> v roce 2010, odhadem 23,4 milionů v roce 2011, očekávaný celkový prodej do roku 2015 je 159 milionů kusů<sup>98</sup>) a provozovatelé kin (v České republice bylo v roce 2010 celkem 60 kinosálů vybavených prostorovou projekcí, realizovanou čtyřmi různými systémy<sup>99</sup>).

---

*filmového plátna : Výzkum, předvádění a reflexe stereoskopického filmu v Československu (1949-1955).* Brno, 2009. 81 s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Dostupné z WWW: <[is.muni.cz/th/231696/ff\\_b/Frodlova\\_Za\\_hranici\\_filmoveho\\_platna.doc](http://is.muni.cz/th/231696/ff_b/Frodlova_Za_hranici_filmoveho_platna.doc)>.

<sup>93</sup> HAYES, R. M. *3-D Movies : A History and Filmography of Stereoscopic Cinema*. 1st ed. Chicago : London McFarland & Company, 1998. 414 s. ISBN 0786405783.

<sup>94</sup> IMAX [online]. 2011 [cit. 2011-08-12]. Corporate Overview. Dostupné z WWW: <<http://www.imax.com/corporate/>>.

<sup>95</sup> VAN WAGONER, Steve. *Celebration! Cinema* [online]. April 20, 2010 [cit. 2011-08-12]. Digital IMAX Projection at Celebration! Cinema Lansing. Dostupné z WWW: <<http://celebrationcinema.wordpress.com/2010/04/20/digital-imax-projection-at-celebration-lansing/>>.

<sup>96</sup> <http://www.avatarmovie.com>

<sup>97</sup> Produkty označované jako 3D televize reprezentují displeje založené obvykle na nejrozličnějších principech paralaktického prostorového zobrazování.

<sup>98</sup> KIM, Miyoung. Global 3D TV market to grow 5-fold in 2011: iSuppli. *Reuters* [online]. May 6, 2011, [cit. 2011-08-12]. Dostupný z WWW: <<http://www.reuters.com/article/2011/05/06/us-3d-forecasts-idUSTRE74512020110506>>.

<sup>99</sup> 3D kina [online]. 2011 [cit. 2011-09-12]. 3D systémy v českých kinech. Dostupné z WWW: <<http://www.3dkina.cz/3d-systemy-v-ceskych-kinech>>.

Z pohledu běžné spotřební elektroniky je ve spojení s osobními počítači rozšířen systém nVidia 3D Vision<sup>100</sup> a v současné době se prostorové zobrazování prosazuje i na mobilních platformách<sup>101</sup>. Všechna běžně dostupná zařízení a filmové projekce pracují na principu paralaktického zobrazení.

Zásadní inovací v oblasti prostorového zobrazování byl objev hologramu (1948) a rozvoj holografie v 60. letech 20. století<sup>102</sup>, který rovněž předznamenal vynález systémů s reprodukcí světelného pole (light field). Žádné zobrazovací zařízení pracující na principu hologramu ani na principu reprodukce světelného pole (light field) v běžné spotřební elektronice dosud neexistuje.

### 3.3.2 Nepravé prostorové zobrazování

#### *Střídavé obrazy*

Metoda střídání dvojice obrazů (angl. wiggle stereoscopy) je jeden z nejprimitivnějších způsobů prostorového zobrazování. Prostorový dojem vzniká v důsledku zpracování opakovaně navozované pohybové paralaxy. Ta vzniká střídavým zobrazováním obrazu pro levé a pravé oko, při frekvenci kolem 4 Hz. Nejčastěji je tento způsob zobrazení realizován pomocí datového formátu GIF<sup>103</sup>. Toto zobrazení lze realizovat za pomoci běžných IT prostředků, bez nutnosti dalšího speciálního vybavení.

Přestože se nejedná o paralaktickou metodu v pravém slova smyslu (obraz pro levé a pravé oko není striktně oddělen), dochází ke vzniku prostorového vjemu díky zpracování dvojice obrazů v mozku. Z hlediska percepčních charakteristik je možno tuto techniku prostorového zobrazování popsat jako plošné monoskopické nebo polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### 3.3.3 Paralaktické zobrazení

Technologie založené na paralaktickém principu jsou zřejmě nejrozšířenějším způsobem prostorového zobrazování. Základem paralaktického zobrazení je využití polohového

---

<sup>100</sup> NVidia 3D Vision [online]. 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.nvidia.com/object/3d-vision-main.html>>.

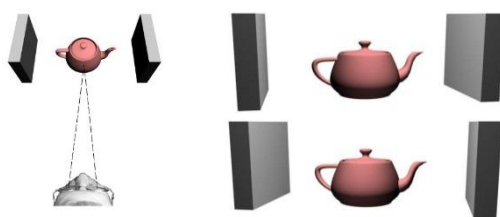
<sup>101</sup> Např. mobilní telefon HTC EVO 3D <<http://www.htc.com/www/smartphones/htc-evo-3d/>>

<sup>102</sup> Viz kapitola 3.3.6 Hologram

<sup>103</sup> Graphics Interchange Format, umožňuje vytváření animací.

paralaktického jevu, který vede k vytvoření binokulární sítnicové disparity<sup>104</sup>. Při pozorování obrazu dvěma očima (binokulárně) je sledovaný prostor sledován každým okem z jiného místa. Na základě binokulární sítnicové disparity je mozkiem vyhodnocována vzdálenost sledovaných objektů.

Za paralaktické technologie jsou v této práci považovány takové technologie, které cíleně využívají zobrazení vytvořené odděleně pro levé a pravé oko diváka. Dílčí zobrazení jsou vytvářena tak, aby se maximálně přiblížila obrazu, který by byl vnímán daným okem při pohledu na reálný objekt. Tato technika vytváření obrazu je někdy označována jako stereoskopie<sup>105</sup>.



**Obrázek 5 Rozdílné obrazy vnímané levým a pravým okem**

Paralaktická technika vytváření prostorového zobrazení je omezena především tím, že zobrazení je vždy vytvářeno právě pro jedno pozorovací místo. Pokud se na zobrazení dívá více diváků najednou, pak u nich dochází k větší či menší deformaci obrazu.

Pro správné vytvoření paralaktického zobrazení je potřeba znát především velikost zobrazení, vzdálenost zobrazení od diváka a vzdálenost očí diváka<sup>106</sup>. Pokud není obraz vytvořen správně, může dojít ke snížení komfortu diváka, případně zcela znemožnit vytvoření vjemu hloubky.

Důležitou roli u paralaktického obrazu hraje vergence a akomodace očí. Oko vždy ostří (akomoduje) na vzdálenost obrazu (monitor, plátno apod.). Akomodace je jedno z vodítek vnímání hloubky obrazu a její konflikt s vergencí očí vede ke snížení komfortu diváka<sup>107</sup>.

---

<sup>104</sup> Blíže viz kapitola 3.1.2 Vnímání prostoru

<sup>105</sup> Blíže viz kapitola 3.1.4 Prostředek prostorového zobrazování

<sup>106</sup> Obvykle se pracuje se střední hodnotou, která je v rozmezí 6,5 cm až 7 cm.

<sup>107</sup> Viz kapitola 3.1.2 Vnímání prostoru

Vergence<sup>108</sup> očí není závislá na poloze obrazu vzhledem k divákovi, ale na konkrétním zobrazení. Vergence se řídí typem paralaxy v obraze. Existují čtyři druhy paralaxy:

- **Nulová paralaxa**

Oči konvergují na rovinu obrazu. Objekty se jeví být v rovině obrazu. Obraz je stejný pro levé i pravé oko.

- **Pozitivní paralaxa**

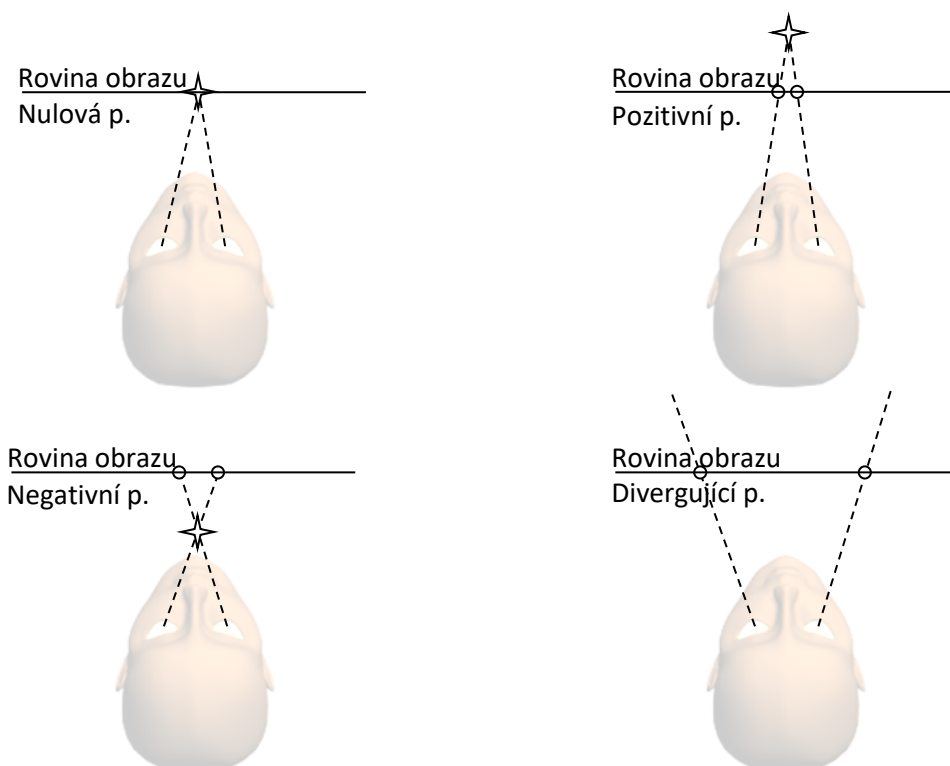
Oči konvergují za rovinu obrazu. Objekty se jeví být za rovinou obrazu.

- **Pozitivní divergující paralaxa**

Oči divergují (rozbíhají se). Objekty se jeví být za rovinou obrazu.

- **Negativní paralaxa**

Oči konvergují před rovinou obrazu. Objekty se jeví být před rovinou obrazu.



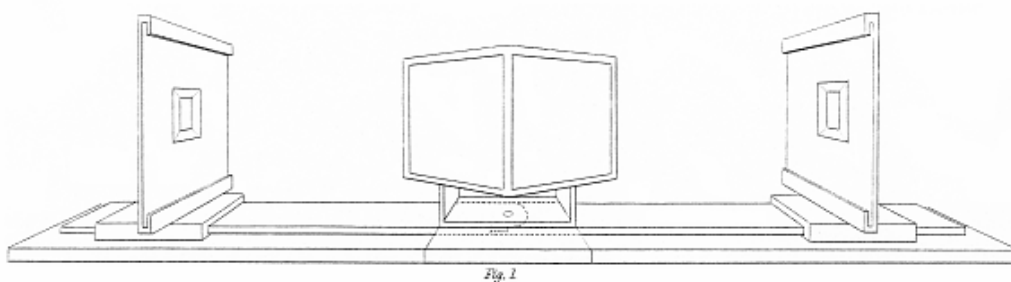
**Obrázek 6 Vergence očí při paralaktickém zobrazení**

---

<sup>108</sup> Přestože se obvykle hovoří pouze o konvergenci a divergenci očí, je možno používat i obecnější název vergence, který zahrnuje jak konvergenci, tak divergenci.

Z výše uvedených případů dochází k pozitivní divergující paralaxe pouze tehdy, pokud je obraz vytvářen uměle. Při vnímání v reálném světě oči vždy konvergují a tento konflikt vede u mnoha jedinců ke ztrátě prostorového vjemu a při delším působení k bolestem hlavy, únavě a dalším obtížím<sup>109</sup>.

V případě negativní paralaxy může docházet k protínání zobrazovaného objektu s okrajem zobrazení. Tento konflikt (objekt by měl okraj zakrýt, což při využití paralaktické techniky nejde) způsobuje narušení, případně ztrátu prostorového vjemu.



**Obrázek 7 Původní Wheatstonův reflexní stereoskop<sup>110</sup>**

Obrazy pro paralaktické zobrazení je možno pořizovat nebo vypočítávat dvěma různými způsoby. Jako vhodnější pro prostorové zobrazování se ukazuje náročnější metoda paralelních kamer (off-axis metoda). Metoda konvergujících kamer (Toe-in metoda) přináší obvykle méně kvalitní výsledky v důsledku možného vzniku vertikální paralaxy<sup>111</sup>.

Zařízení pro paralaktické prostorové zobrazování lze dělit do dvou základních kategorií. Zařízení s paralelním zobrazením produkují zobrazení, ve kterém jsou obrazy pro levé a pravé

---

<sup>109</sup> HÄKKINEN, Jukka, et al. Simulator Sickness in Virtual Display Gaming : A Comparison of Stereoscopic and Non-stereoscopic Situations. In *MobileHCI 06 : Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. New York : ACM, 2006. s. 227-229. Dostupné z WWW: <<http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/jukka.hakkinen/ref-26/p227-hakkinen.pdf>>. ISBN 1-59593-390-5.

<sup>110</sup> WHEATSTONE, Charles: Contributions to the Physiology of Vision. – Part the Second. On some remarkable, and hitherto unobserved, Phenomena of Binocular Vision (continued). *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 1 January 1852, vol. 142: pp. 1-17. Dostupné z WWW: <<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1852.html>>.

<sup>111</sup> HASMANDA, Martin. *Zpracování stereoskopické videosekvence*. Brno, 2010. 57 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28445](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28445)>., str. 17

oko zobrazeny současně. Zařízení se sekvenčním zobrazením zobrazují střídavě obraz pro levé a pravé oko.

### *Stereoskop*

Paralaktické technologie byly jako první využity pro prostorové zobrazování. V roce 1838 poprvé představil Charles Wheatstone<sup>114</sup> stereogram a zařízení pro jeho pozorování stereoskop, přestože větší popularity se dočkalo řešení stereoskopu Olivera Wendella Holmese z roku 1859<sup>115</sup>. Tímto zařízením započala éra prostorového zobrazování. Zařízení pracuje na principu separace obrazové informace optickou cestou. Stereoskopy existují v mnoha principiálně i technicky odlišných provedeních a krátce po svém vzniku se díky velké popularitě prosadili i ve vzdělávání<sup>116</sup>.



**Obrázek 8** Improvizovaný stereoskop za použití zrcadla<sup>112</sup> a vhodný stereogram<sup>113</sup>

Stereoskopy je možné používat pro sledování průhledných či neprůhledných materiálů. Často jsou používány fotografie pořízené speciálními fotoaparáty. Tradiční podoba stereogramů jsou dva obrazy vedle sebe (side-by-side). Princip stereoskopu je možno jednoduše použít i pro sledování obrazu generovaného běžnými displeji.

---

<sup>112</sup> Převzato z WWW: <[http://www.crystalcanyons.net/abouts/3dc9\\_dualmonitorcomplete.shtm](http://www.crystalcanyons.net/abouts/3dc9_dualmonitorcomplete.shtm)>

<sup>113</sup> Pro sledování pomocí zrcadla musí být jedna strana stereogramu horizontálně převrácená. Běžné stereogramy tvoří dvojice nepřevrácených obrazů. Převzato a upraveno z [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Asiatic\\_hybrid\\_lilium\\_stereogram\\_flipped.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Asiatic_hybrid_lilium_stereogram_flipped.jpg)

<sup>114</sup> WHEATSTONE, Charles: Contributions to the Physiology of Vision. Part the First. On Some Remarkable, and Hitherto Unobserved, Phenomena of Binocular Vision Phil. Trans. R. Soc. Lond. January 1, 1838 vol. 128: pp. 371-394. Dostupné z WWW: <<http://www.stereoscopy.com/library/wheatstone-paper1838.html>>.

<sup>115</sup> PHILLIPS, Del. *A Visual History of the Stereoscope* [online]. 2006 [cit. 2011-08-03]. Dostupné z WWW: <<http://home.centurytel.net/s3dcor/>>.

<sup>116</sup> STAPLES, Shelley. *American Studies (University of Virginia)* [online]. 2002 [cit. 2011-08-03]. The Stereoscope in America. Dostupné z WWW: <<http://xroads.virginia.edu/~MA03/staples/stereo/home.html>>.

Výhodou stereoskopů je jejich jednoduchá konstrukce. Jednoduchý stereoskop pro sledování stereogramů na displeji lze sestavit například za použití zrcadla (viz Obrázek 8) a jednoho nebo dvou displejů.

Stereoskopy představují plošné monoskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### HMD

Head mounted display (HMD, někdy též Helmet mounted display, nebo Virtual Reality Helmet) je zařízení, které principiálně vychází ze stereogramů a stereoskopů. V HMD jsou statické tištěné obrazy nahrazeny dynamickým digitálním zobrazením, které je realizováno obvykle CRT nebo LCD displeji a dále je obraz transformován optickým způsobem. Celé zařízení je upevněno na hlavě diváka a často je vybaveno sledováním pozice v prostoru (head-tracking). Tato zařízení jsou někdy též nazývána virtuálními helmami a jejich největší rozvoj souvisí s rozvojem virtuální reality, jelikož poskytují vysokou míru imerze.



Obrázek 9 HMD<sup>117</sup>

Sledovanými vlastnostmi HMD displejů jsou především celková úhlová velikost zobrazení<sup>118</sup> (FOV, field of view, nejkvalitnější HMD až 150°), velikost rozlišení (řádově 1 Mpx na display) a míra překryvu zorných polí (Binocular overlap, nejkvalitnější HMD cca. 80°). Kromě těchto parametrů zobrazení je často pozornost věnována váze zařízení, která výrazně ovlivňuje komfort diváka.

---

<sup>117</sup> Převezato z WWW:<[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/9d/XSight\\_HMD.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/9/9d/XSight_HMD.jpg)>

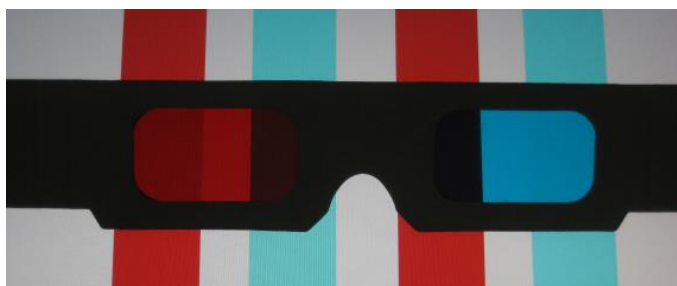
<sup>118</sup> Velikost se výrazně liší podle účelu HMD.

Nízké hodnoty rozlišení HMD jsou mimo jiné důsledkem umístění celého zařízení na hlavě diváka a není tedy možné použít velké a těžké displeje s velkým rozlišením. Další rozvoj HMD přímo souvisí s pokrokem v oblasti displejů s vysokým rozlišením (OLED, AMOLED apod.) HMD je vyráběno velké množství typů a není vždy nutné, aby byly určeny k prostorovému zobrazování<sup>119</sup>.

HMD pro prostorové zobrazování jsou konkávní monoskopická zařízení s pasivní nebo aktivní paralaxou (pokud je zařízení doplněno sledováním pozice hlavy - headtracking).

### *Anaglyf*

Anaglyf lze považovat za jednu z neznámějších metod paralaktického zobrazení. Slovo anaglyf (angl. anaglyph) bylo původně označení pro vyřezávaný reliéf<sup>120</sup>. Tato technologie je založena na separaci obrazu prostřednictvím barevných filtrů, přičemž obraz pro levé a pravé oko je kombinován v jednom zobrazení.



**Obrázek 10 Anaglyfové brýle, červeno-azurové a filtrace barev zobrazení**

Pro sledování anaglyfů se obvykle používají brýle, jejichž očníce jsou tvořeny různobarevnými filtry. Nejčastěji je používána kombinace červená – azurová (azurová barva je doplňková barva<sup>121</sup> pro červenou). Výsledný dojem je v případě anaglyfu závislý na kvalitě barevných

---

<sup>119</sup> Některé HMD jsou určeny pouze pro jedno oko a jejich účelem je integrovat obrazové a textové informace do zorného pole diváka. Viz např. produkt LiteEYE <<http://www.liteye.com/Docs/Products/LE750A.pdf>>

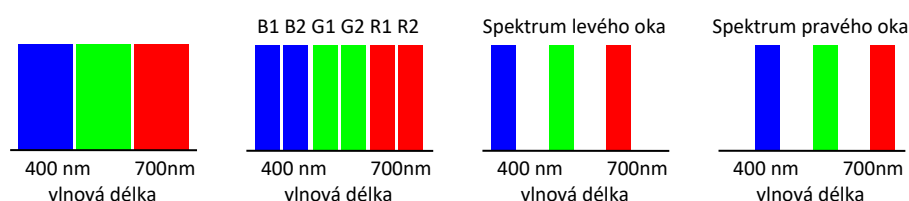
<sup>120</sup> Anaglyph: *The American Heritage® Dictionary of the English Language* [online]. Fourth Edition. [s.l.] : Houghton Mifflin Company, 2000, 2009 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.thefreedictionary.com>>.

<sup>121</sup> Doplňková barva je barva, kterou je nutné přidat k určité barvě, aby vznikla neutrální barva, tj. šedá, resp. bílá barva. Doplňková barva se v chromatickém diagramu CIE nalézá na opačné polopřímce spojnice dané původní barvy a bílého bodu.



filtrů a barvách použitých pro zobrazení. I přesto, že filtrace není vždy dokonalá<sup>122</sup> (viz Obrázek 10), dochází ke vzniku prostorového vjemu.

Nejjednodušší forma anaglyfu pracuje pouze s dvojicí barev a obraz se jeví jako šedivý. Některé další formy umožňují alespoň částečnou barevnou reprodukci, především v oblasti zelených a žlutých barev. Interpretace barev v obraze je rovněž závislá na typu použitých barevných filtrů v brýlích. Za specifický typ anaglyfu lze považovat technologii Inficolor. Barevné filtry v Inficolor brýlích propouštějí jen některé frekvence barev (viz Obrázek 11).



**Obrázek 11 Infitec color shift – spektrální charakteristika filtrů Infitec<sup>123</sup>**

Prostorové zobrazení pomocí anaglyfu je využíváno v mnoha softwarových nástrojích pro svoji jednoduchost. Anaglyf je možno s úspěchem zobrazovat pomocí běžných ICT prostředků (monitor, DVP<sup>124</sup>) i tisknout. V závislosti na softwarovém řešení může být na tomto principu vytvořen systém imerzivní i neimerzivní, jedno i více-divácký. Vzhledem k problémům s barevnou věrností zobrazení anaglyfů je tato technika využívána spíše u jednodušších systémů. Pro svoji nízkou pořizovací cenu, možnost tisku i zobrazení prostřednictvím displejů a DVP jsou systémy založené na anaglyfickém zobrazení vhodné pro nasazení v běžné školské praxi.

Typicky je anaglyf používán pro plošné monoskopické nebo polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### **Chromadepth**

Metoda chromadepth je založena na rozdílném lomu světla různých frekvencí na rozhraní optických prostředí. Při použití vhodného optického prvku je možno dosáhnout různou míru

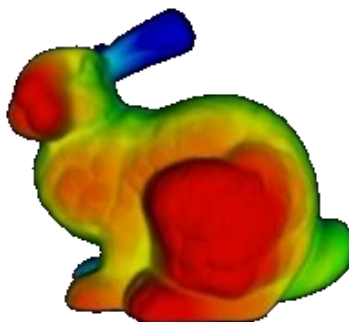
<sup>122</sup> Jev, při kterém se informace z jednoho kanálu dostane do kanálu jiného (obraz určený pro levé oko se dostane do pravého oka a obráceně) se nazývá přeslech (cross-talk).

<sup>123</sup> Převzato a upraveno z WWW: <<http://www.infitec-global-sales.com/english/infitec-definiton.htm>>

<sup>124</sup> Data-Video Projektor

odchylky vnímaného obrazu v závislosti na jeho barvě. Tato technologie je patentována firmou Chromatek<sup>125</sup> (nyní vlastněna firmou American Paper Optics, Inc.).

Pro pozorování chromadepth zobrazení je nutné použít speciální brýle, které mají v jedné očníci průhlednou fólii, která láme světlo všech barev přibližně stejně a ve druhé očníci fólii, která naopak láme světlo různých frekvencí různě. Fólie má speciální strukturu povrchu s pilovitým profilem. K lomu světla dochází na takto vzniklých „hranolech“.



**Obrázek 12** Obraz pro sledování pomocí Chromadepth brýlí<sup>126</sup>

Výhodou této technologie je možnost vytvářet zobrazení pomocí běžných zobrazovacích prostředků (monitor, DVP) i tištěnou formou. Protože je prostorový vjem založen na použité barvě v zobrazení, je možno vytvářet prostorové zobrazení například v běžných grafických editorech nebo za pomoci barevných pastelů<sup>127</sup>.

Přestože u této technologie dochází ke vzniku binokulární disparity, je tato technologie na hranici mezi pravým a nepravým prostorovým zobrazením, neboť obraz viděný oběma očima je v podstatě stejný, dochází jen k jeho deformaci. Chromadepth je realizován obvykle jako plošné monoskopické nebo polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### **Autostereogram**

Autostereogramy (Někdy též SIS, Single Image Stereogram) jsou stereogramy, pro jejichž sledování není potřeba stereoskop. Autostereogramy mohou být tvořeny opakujícím se

---

<sup>125</sup> <http://www.chromatek.com>

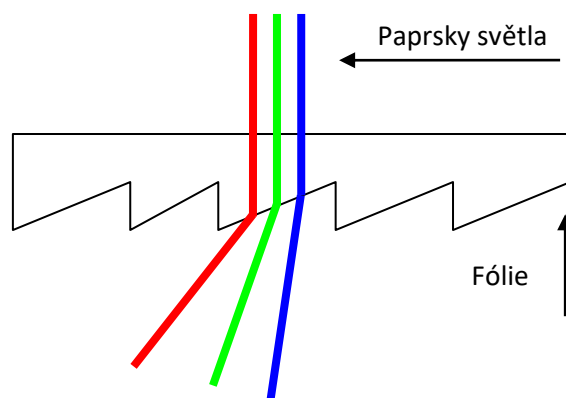
<sup>126</sup> Převzato z WWW: <<http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep>>

<sup>127</sup> Převzato z WWW:

<[http://www.chromatek.com/CyberHolograms/Crayon\\_CyberHologram/crayon\\_cyberhologram.html](http://www.chromatek.com/CyberHolograms/Crayon_CyberHologram/crayon_cyberhologram.html)>

vzorem nebo náhodnými body<sup>128</sup>. Pokud jsou autostereogramy sledovány s vhodnou vergencí očí („pohled do dálky“), vzniká díky drobným odchylkám v pozici bodů obrazu prostorový vjem. Popularitu přineslo autostereogramům jejich umělecké využití. Často je v této souvislosti zmiňována série publikací Magic Eye<sup>129</sup>. Autostereogramy mají význam především pro výzkum binokulárního vidění.

Autostereogramy představují monoskopické plošné zobrazení s pasivní paralaxou.



Obrázek 13 Profil ChromaDepth fólie<sup>130</sup>

### *Pasivní stereoprojekce*

Pasivní stereoprojekce je založena na kombinaci specifického způsobu zobrazování, obvykle za použití projekční techniky a použití separačních filtrů u diváka (nejčastěji v podobě brýlí). Podle použité filtrační metody lze rozlišit několik základních typů pasivní projekce. Terminologický posun výrazu stereoprojekce je diskutován v kapitole 3.1 Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazování.

### *Lineární polarizace*

Metoda lineární polarizace využívá pro separaci obrazů lineárních polarizačních filtrů. Obraz je promítán současně dvěma projektory na jedno plátno. Před projektory jsou umístěny filtry a filtry jsou i v brýlích diváků. Polarizační roviny obrazů jsou pootočený o 90° vůči sobě. Po odrazu od projekčního plátna musí být zachována polarizace světla. Obvykle se používají

<sup>128</sup> Viz kapitola 3.1.2 Vnímání prostoru – Stereogram náhodných bodů (RDS, Random Dot Stereogram)

<sup>129</sup> Série je vydávána nakladatelstvím N.E.Thing Enterprises, které v roce 1996 změnilo název na Magic Eye, Inc.

<sup>130</sup> SANTOS, Ricardo J.T. *Scaling of Rendered Stereoscopic Scenes* [online]. Plzeň, 2005. 67 s. Referát.

Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z WWW:

<<http://herakles.zcu.cz/research/projects/15/StereoScaling.pdf>>.

plátna s pokoveným povrchem. Filtry v brýlích jsou rovněž pootočený o  $90^\circ$  a tudíž propouští pouze jeden obraz. Druhý, jehož polarizační rovina je otočena o  $90^\circ$  je odfiltrován (viz. Obrázek 14). Tento systém je znám z řetězce kin IMAX<sup>131</sup>.

Nevýhodou systémů s lineární polarizací je nutnost držet brýle ve vodorovné pozici tak, aby



**Obrázek 14** Schematické znázornění filtrace polarizačními filtry

docházelo ke správné filtraci obrazu. Při změně náklonu brýlí se snižuje jas obrazu.

### Kruhová polarizace

Kruhová polarizace je principiálně podobná lineární polarizaci. Kruhová polarizace může být pravotočivá nebo levotočivá. Pro separaci obrazů se používají brýle s dvojicí polarizačních filtrů v každé očníci (viz Obrázek 15), které propustí pouze levotočivé resp. pravotočivé polarizované světlo. Systém je možné provozovat i za použití jednoho projektoru (RealD Cinema), přičemž přepínání mezi pravotočivým a levotočivým polarizačním filtrem projektoru je řešeno elektronicky.

Použití kruhové polarizace místo lineární odstraňuje problémy s pozicí brýlí vůči plátnu, ale zvyšuje cenu celého řešení oproti systémům s lineární polarizací.

Pasivní stereoprojekce je obvykle realizována jako plošné nebo konkávní polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### Aktivní stereoprojekce

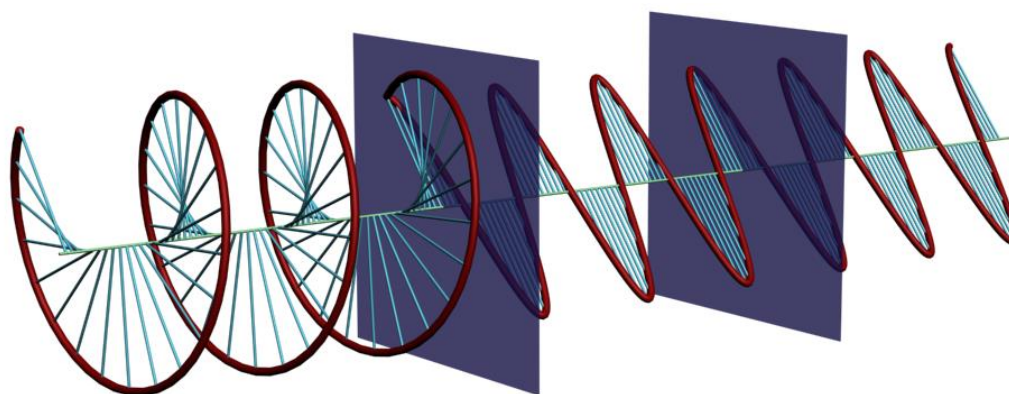
Zařízení na principu aktivní stereoprojekce zobrazují sekvenčně obrazy pro levé a pravé oko. Oddělení obrazové informace je realizováno pomocí zařízení zakrývajících synchronizovaně

---

<sup>131</sup> IMAX Praha [online]. 2004 [cit. 2011-08-03]. Efekty 3D. Dostupné z WWW: <<http://www.imaxpraha.cz/CoJelmaxEfekty3D.asp>>.

s obrazem střídavě levé a pravé oko. Terminologický posun výrazu stereoprojekce je diskutován v kapitole 3.1 Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazování.

Zřejmě prvním zařízením, které pracovalo na principu aktivní stereoprojekce, byl systém Televue vynálezců Laurence Hammonda a Williama F. Cassidiho)<sup>132</sup>. Obraz byl promítán dvojicí elektricky synchronizovaných filmových projektorů na jedno plátno. Diváci pro sledování filmu používali zařízení „Televue“, které obsahovalo elektromotorem poháněné rotující stínítko, elektricky synchronizované s projektory.



Obrázek 15 Kruhová polarizace

V současné době (2011) lze zařízení s aktivní stereoprojekcí považovat za nejvíce rozšířenou metodu prostorového zobrazování<sup>133</sup>. Přestože jednotlivé systémy nejsou navzájem kompatibilní, principiálně jsou shodné. Obraz je zobrazován střídavě (LCD, plazmový displej, projekce na plátno) v dostatečné frekvenci (obvykle se jako minimální obnovovací frekvence uvádí 120 Hz, což představuje 60 Hz vnímané každým okem). Divák je vybaven brýlemi (zatmívací brýle, angl. shutter glasses, shutter goggles) s průhlednými LCD, které se střídavě zatmívají podle synchronizačních signálů (viz Obrázek 16). Synchronizační signál je šířen obvykle bezdrátově pomocí infračerveného světla, resp. elektromagnetického záření nebo u některých zařízení pomocí metalického vedení (kabelové). Pokud není využito metalického

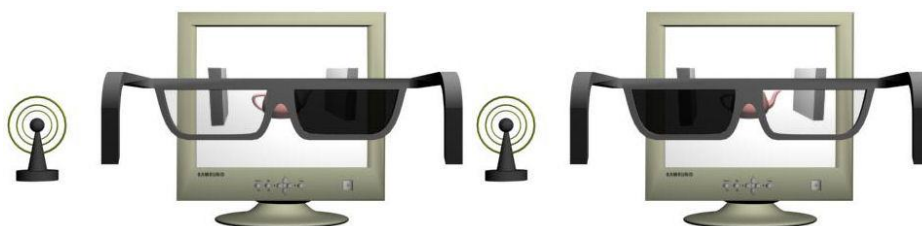
---

<sup>132</sup> HAYES, John. You see them WITH glasses : A Short History of 3D Movies. In *Wide Screen Movies Magazine* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002, 14 January, 2011 [cit. 2011-08-11]. Dostupné z WWW: <<http://widescreenmovies.org/WSM11/3D.htm>>.

<sup>133</sup> Většina v současnosti prodávaných tzv. 3D televizí pracuje na tomto principu. Rovněž většina kin s prostorovou projekcí využívá aktivních brýlí. Výjimku představují např. kina IMAX, která používají pasivní systém s lineárně polarizovanými filtry.

vedení, musí být brýle vybaveny vlastním zdrojem elektřiny v podobě baterií nebo akumulátorů, což zvyšuje jejich váhu, ale zlepšuje uživatelský komfort diváků. Pokud je pro vytváření obrazu využit projektor, je z důvodu zaručení dostatečné obnovovací frekvence obvykle využíván systém DLP<sup>134</sup>.

Na principu aktivní projekce vznikla řada konkrétních systémů od různých výrobců, které se výrazně liší velikostí, cenou, mírou imerze a v dalších parametrech.



Obrázek 16 Princip aktivní stereoprojekce

### nVidia 3D Vision

Produkt nVidia 3D Vision<sup>135</sup> je zástupcem aktivních stereoprojekčních systémů pro osobní počítače. Pod tímto produktovým označením je dodávána celá řada zařízení, která spolupracují s grafickými kartami nVidia. Zatmívací brýle existují jak v bezdrátové, tak i v kabelové variantě. Ke grafické kartě je možno připojit libovolné zobrazovací zařízení (displej, projektor, televize apod.), které splňuje potřebné technické parametry (především dostatečná obnovovací frekvence).

Systém 3D Vision automaticky rozpozná režim zobrazování, ve kterém se nachází grafická karta a v případě zobrazování 3D objektů (pomocí OpenGL nebo DirectX rozhraní<sup>136</sup>) automaticky upraví obrazový výstup („rozdvojení obrazu“) a synchronizuje brýle s obrazem. Některé softwarové produkty<sup>137</sup> obsahují přímo podporu pro zařízení 3D Vision.

---

<sup>134</sup> Digital Light Processing, projekční systém patentovaný firmou Texas Instruments.

<sup>135</sup> *nVidia 3D Vision* [online]. 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.nvidia.com/object/3d-vision-main.html>>.

<sup>136</sup> Ve 3D režimu jsou do paměti grafické karty nahrány informace o zobrazovaném modelu (souřadnice vrcholů, textury apod.). Díky prostorové povaze dat je možné měnit pohledová místa na model a tím vytvářet obrazy pro levé a pravé oko.

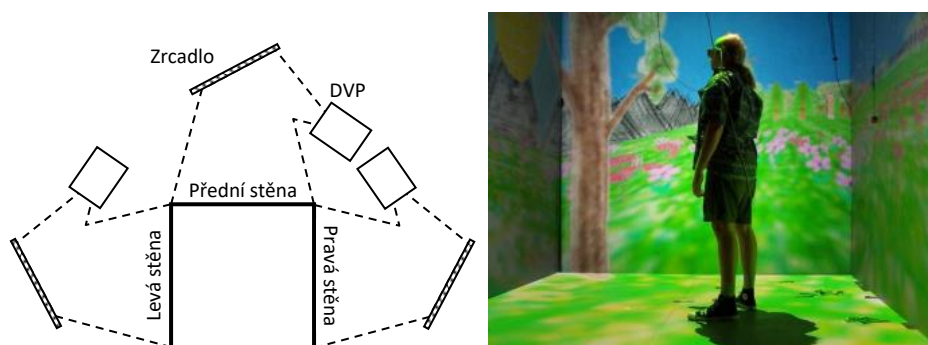
<sup>137</sup> Jedná se především o počítačové hry, jejichž seznam možné najít na adrese <<http://www.nvidia.com/object/3d-vision-3d-games.html>>

Díky své cenové dostupnosti a nezávislosti na zobrazovacím zařízení je tento systém často využíván v experimentálních projektech, a to i v oblasti edukace<sup>138</sup>.

Tato technologie představuje plošné monoskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

## CAVE

Cave Automatic Virtual Environment (CAVE<sup>141</sup>) je princip vytváření prostorového zobrazení, který dosahuje v současné době jednu z nejvyšších úrovní imerze. Zařízení CAVE jsou budována většinou na míru podle požadavků zadavatele a jejich rozšíření není vzhledem k jejich cenové a prostorové náročnosti velké.



**Obrázek 17** Jedna z možných konfigurací CAVE<sup>139</sup> a práce v CAVE<sup>140</sup>

CAVE je rozšířenou aplikací aktivní stereoprojekce. CAVE je tvořen dvěma a více plátny, na které je promítán obraz pomocí DVP formou zadní projekce (použití pomocných zrcadel redukuje celkovou velikost zařízení). Obraz je vytvářen s ohledem na polohu diváka v CAVE (viz Obrázek 17).

Podle množství použitých pláten se místo označení CAVE používají jiné názvy, které ale reprezentují principiálně shodné zařízení<sup>142</sup>.

---

<sup>138</sup> JUDELMAN, Gregory Brian. *Knowledge Visualization : Problems and Principles for Mapping the Knowledge Space* [online]. [s.l.], 2004. 175 s. Dizertační práce. University of Lübeck. Dostupné z WWW: <<http://www.gregjudelman.com/media/judelmanThesis2004.pdf>>.

<sup>139</sup> Převzato a upraveno z WWW: <<http://www.evl.uic.edu/pape/CAVE/idesk/paper/fig4.jpg>>

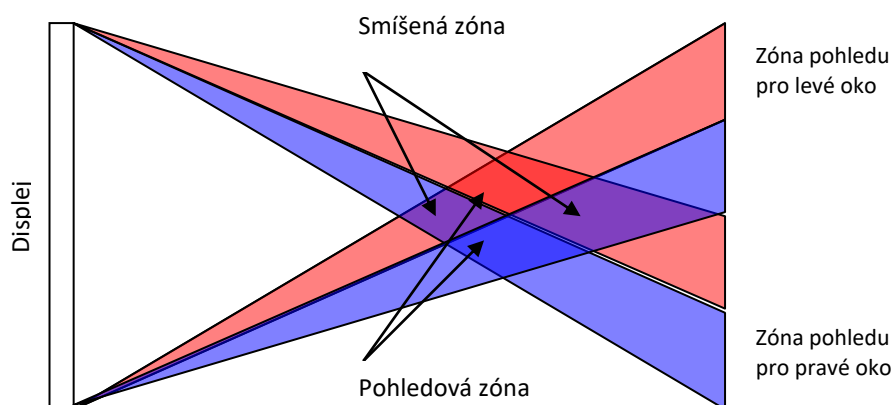
<sup>140</sup> Převzato z WWW: <[http://resumbrae.com/ub/dms259\\_s06/12](http://resumbrae.com/ub/dms259_s06/12)>

<sup>141</sup> Zkratka CAVE je rekurzivní akronym: Cave Automatic Virtual Environment

<sup>142</sup> MARCHESE, Francis T. *Francis T. Marchese Personal Site* [online]. 2010 [cit. 2011-09-11]. Virtual Reality. Dostupné z WWW: <<http://csis.pace.edu/~marchese/DPS/Lect2/l2.html>>.

Jelikož je použito více pláten, které mají vůči divákovi různou polohu a obraz je potřeba počítat pro každé oko zvlášť, je pro generování obrazu v CAVE zapotřebí vysoký grafický výpočetní výkon. Z tohoto důvodu se pro generování obrazu často používají grafické výpočetní cluster s vysokou mírou paralelizace výpočtů.

CAVE představuje konkávní monoskopické zobrazení s aktivní paralaxou.



**Obrázek 18 Vznik pohledových čtyřúhelníků (pohled shora)<sup>143</sup>**

### 3D televizory a projektory

Televizory a projektory podporující prostorové zobrazování (někdy značeny jako 3D nebo 3D Ready<sup>144</sup>) produkují synchronizační signál pro zatmívací brýle obvykle bez ohledu na zdroj videosignálu. V některých případech musí mít vstupní signál určitou obnovovací frekvenci (např. 120 Hz u projektoru NEC NP216).

Výhodou tohoto systému je možnost volby zařízení pro zdroj videosignálu (PC, Blu-ray přehrávač apod.). Tento systém nabízí (oproti systémům s generováním synchronizačního signálu grafickou kartou) menší kontrolu nad synchronizací mezi zatmívacími brýlemi a zobrazovacím zařízením. Tato zařízení nepodporují komunikaci se zdrojem videosignálu, a není proto u nich možné realizovat zobrazení s aktivní paralaxou<sup>145</sup>.

---

<sup>143</sup> HOLLIMAN, Nick. *Handbook of Opto-electronics*. [s.l.] : IOP Press, 2004. 3D Display Systems, s. 45. Dostupné z WWW: <<http://www.dur.ac.uk/n.s.holliman/Presentations/3dv3-0.pdf>>. ISBN 0-7503-0646-7.

<sup>144</sup> Např. projektor NEC NP216 <<http://www.necdisplay.com/p/multimedia-projectors/np216>>

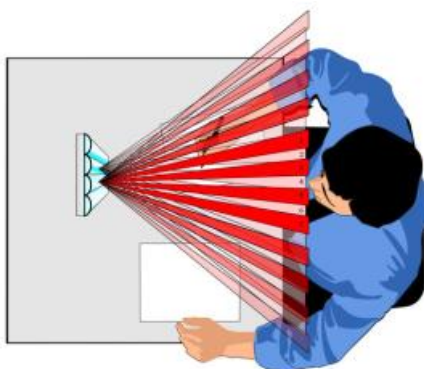
<sup>145</sup> Technicky je možné tento problém vyřešit doplněním sledování polohy diváka pomocí polohovacího zařízení spojeného se zdrojem videosignálu.



3D televizory a projektory lze charakterizovat z hlediska percepce jako technologie poskytující plošné polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou.

### *Autostereoskopické displeje a tisk*

Jako autostereoskopické displeje je možno označit taková zařízení, která separují obrazovou informaci pro levé a pravé oko bez nutnosti použití nějakého dalšího prostředku (brýle) divákem. Toho je dosahováno různými prostředky, obvykle se jedná o kombinaci LCD displeje s mikrooptickou vrstvou<sup>147</sup>.



**Obrázek 19 Autostereoskopický monitor s lentikulární vrstvou<sup>146</sup>**

Autostereoskopické displeje využívají tři základní prostředky pro separaci obrazů:

- optické bariéry (parallax barrier)
- cylindrické čočky (cylindrical lenses)
- polarizační filtry
- DTI (DTI illumination)

Autostereoskopické displeje je možné konstruovat jako jedno-pohledové (single-view), kdy před displejem vznikají pouze dvě pohledová okna (pro levé a pravé oko), nebo jako více-pohledové (multi-view), které disponují více okny v různých místech.

Velikost pohledových míst je do značné míry dána použitou technologií, ale vždy je třeba sledovat obraz z určitých míst (například v ose monitoru). Dále je nutné sledovat obraz

---

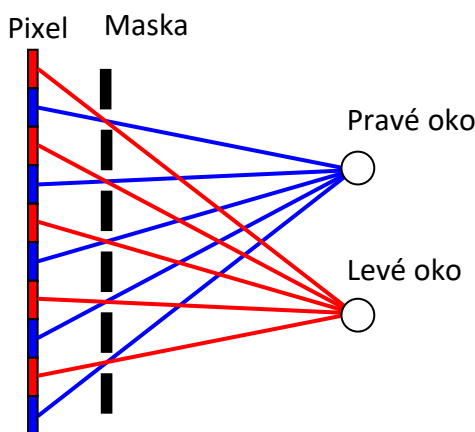
<sup>146</sup> Převezato z WWW: <<http://www.wired.com/gadgetlab/2008/10/philips-3d-hdtv>>

<sup>147</sup> HOLLIMAN, Nick. *Handbook of Opto-electronics*. [s.l.] : IOP Press, 2004. 3D Display Systems, s. 45. Dostupné z WWW: <<http://www.dur.ac.uk/n.s.holliman/Presentations/3dv3-0.pdf>>. ISBN 0-7503-0646-7.

z určité vzdálenosti, neboť pohledová okna se přibližují a oddalují podle vzdálenosti od displeje (viz Obrázek 18).

### Rastrové paralaktické bariéry

Využití paralaktických bariér (angl. parallax barrier) je jedna z nejstarších metod vytváření autostereoskopického zobrazení. Již v roce 1941 bylo na tomto principu Semjonem Pavlovičem Ivanovem zprovozněno kino<sup>149</sup>. Ivanov využil tenké drátky, které byly nataženy před plátnem a vrhaly na něj stín. Během dalšího vývoje byl tento systém nahrazen rastrovanými čočkami. Autostereoskopické displeje využívají stejnou techniku, ale drátky jsou nahrazeny jiným typem rastru. Firma Sony vyvinula systém 2D/3D displeje<sup>150</sup>, kde funkci rastru plní další LCD displej. Díky tomu lze rastr vypínat a zapínat elektronicky.



Obrázek 20 Principiální schéma optické bariéry (upraveno)<sup>148</sup>

### Cylindrické čočky

Použití cylindrických čoček (angl. cylindrical lenses, lenticular sheet) je v současné době zřejmě nejčastějším způsobem výroby autostereoskopických displejů a autostereoskopických tisků. Při použití čoček dochází k menším ztrátám jasu výsledného obrazu. U tištěných materiálů není nutné podsvícení a výroba plastových lentikulárních folií je levná.

---

<sup>148</sup> Převezato z WWW: <<http://www.3d-forums.com/autostereoscopic-displays-t1.html>>

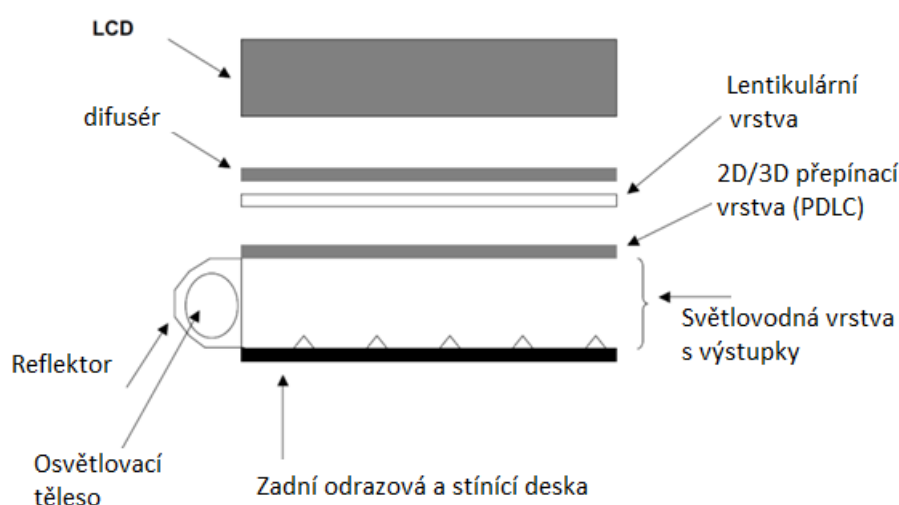
<sup>149</sup> IVANOV, B. T. (1953): Plastický film. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

<sup>150</sup> JACOBS, Adrian, et al. *Sharp* [online]. 2003 [cit. 2011-08-01]. 2D/3D Switchable Displays. Dostupné z WWW: <<http://sharp-world.com/corporate/info/rd/tj4/pdf/4.pdf>>.

## DTI

Systém vyvinutý firmou Dimension Technologies Inc. pod označením DTI (angl. DTI illumination) pracuje na obráceném principu než rastrová bariéra. LCD displej je podsvěcován tenkými proužky světla. Díky tomu je světlo vidět buď levým, nebo pravým okem. Tento systém umožňuje i 2D režim, při kterém je světlo rozptýleno a displej pracuje jako tradiční LCD<sup>151</sup>.

Všechny autostereoskopické displeje představují plošné monoskopické zobrazení s pasivní paralaxou.



Obrázek 21 Systém podsvícení DTI<sup>152</sup>

### 3.3.4 Přímé zobrazení v prostoru

Zařízení pro přímé zobrazení v prostoru jsou v současnosti spíše na experimentální úrovni. Technika přímého zobrazení pracuje na dvou základních principech: stacionárním a dynamickém.

Dynamická zařízení obsahují pohybující se části, které se pohybují v zobrazovacím prostoru. Může se jednat o nejrůznější rotující stínítka, displeje apod. Model je zobrazován tak, že jeho jednotlivé body jsou rozzařeny na příslušném místě v zobrazovacím prostoru. Často je

<sup>151</sup> Dimension Technologies [online]. 2005 [cit. 2011-08-01]. How does DTI's 3D technology work?. Dostupné z WWW: <[http://www.dti3d.com/component/option,com\\_kb/page,articles/articleid,1/Itemid,95/](http://www.dti3d.com/component/option,com_kb/page,articles/articleid,1/Itemid,95/)>.

<sup>152</sup> Dimension Technologies [online]. 2005 [cit. 2011-08-01]. How does DTI's 3D technology work?. Dostupné z WWW: <[http://www.dti3d.com/component/option,com\\_kb/page,articles/articleid,1/Itemid,95/](http://www.dti3d.com/component/option,com_kb/page,articles/articleid,1/Itemid,95/)>.

v tomto případě využívána setrvačnost vnímání a body jsou vykreslovány sekvenčně. Emise světla je dosahováno nejrozličnějšími způsoby, například projekcí světla na difuzní povrch, dopadem elektronů na luminofor apod.

U technologií s přímým zobrazením v prostoru se často operuje s pojmem voxel. Tento pojem vznikl jako analogie k pojmu pixel, tedy picture element, neboli obrazový bod. Voxel znamená volume element (prostorový bod) a představuje jednotku zobrazení v prostoru. Voxely se používají v počítačové grafice u volumetrické reprezentace modelů (např. volumetrické snímky z magnetické resonance). Volumetrické modely obsahují informace o celém objemu modelu. U běžnější hranové reprezentace je popsán pouze povrch modelu<sup>153</sup>.

Společným rysem těchto zařízení je hluk, který je vydáván motory poháněcími pohyblivé části zobrazovače a optické artefakty v důsledku rozdílných rychlostí pohybujících se částí zobrazovačů.

Stacionární zařízení nepoužívají v zobrazovacím prostoru pohyblivé části a tím odstraňují typické závady dynamických volumetrických displejů. Nevýhodou je obvykle větší velikost voxelů a tím pádem horší rozlišení stacionárních displejů.

Žádný z doposud představených displejů pro přímé zobrazování v prostoru není schopen správně zobrazit neprůhledný objekt. Světlo z jednotlivých voxelů modelu je obvykle emitováno do všech směrů (angl. omnidirectional), resp. není emitováno pouze ve směru, který by odpovídal přirozenému odrazu světla od fyzického objektu.

### *Displej na principu elektronového děla*

Jeden z prvních prostorových zobrazovačů vznikl v době rozvoje televize, a je proto založen na použití CRT<sup>154</sup>. Oproti tradiční televizi je využito rotujícího stínítka, které je pokryté luminiscenční vrstvou. Systém byl patentován v roce 1960 (US patent 3,140,415)<sup>155</sup>. Tento displej lze považovat za zařízení z percepční kategorie konvexních polyskopických zobrazení s aktivní paralaxou.

---

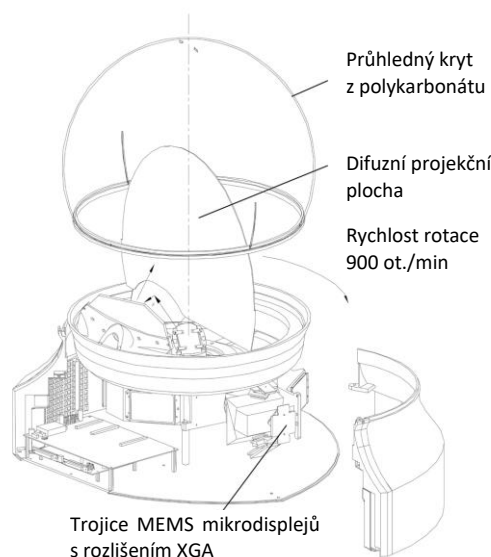
<sup>153</sup> ŽÁRA, Jiří; BENEŠ, Bedřich; SOCHR, Jiří. Moderní počítačová grafika. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha : Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.

<sup>154</sup> Cathode Ray Tube, technologie, která byla používána v tradičních televizích

<sup>155</sup> FAVALORA, Gregg E. Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure. *Computer*. 2005, 38, 8, s. 37-44. Dostupný také z WWW: <<http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/VolIEEEComp2005.pdf>>.

### *Perspecta Spatial 3D Display*

Displej Perspecta byl vyvinut firmou Actuality Systems (od roku 2009 vlastněn firmou OFH, Optics for Hire). Perspecta pracuje s rotujícím stínítkem, na které je dvojicí projektorů promítán obraz. Projektory rotují spolu se stínítkem a vytvářejí obraz v rozlišení 768x768 pixelů. Průměr obrazu je přibližně 25 cm a frekvence obnovy jednotlivých voxelů je 30Hz. Rotující části displeje jsou kryty dvojitým průhledným pláštěm<sup>156</sup>.



**Obrázek 22 Schéma zobrazovací části Perspecta displeje <sup>157</sup>**

Stejně jako většina podobných zařízení vykazuje Perspecta nedostatky plynoucí z použití pohyblivých částí. Rotující projektor vytváří hluk, který není odstraněn ani použitím dvojité kopule. Díky rozdílným rychlostem pohybu v jednotlivých oblastech disku je při konstantní rychlosti vykreslování hustota voxelů na okraji disku nižší (resp. voxely jsou větší) a v ose rotace stínítka je patrný tmavší prostor.

Displej Perspecta představuje konvexní polyskopické zobrazení s aktivní paralaxou.

---

<sup>156</sup> Actuality Systems [online]. 2005 [cit. 2011-08-02]. Perspecta Display 1.9. Dostupné z WWW: <[http://www.actuality-medical.com/site/content/perspecta\\_display1-9.html](http://www.actuality-medical.com/site/content/perspecta_display1-9.html)>.

<sup>157</sup> CHUN, Won-Suk, et al. Spatial 3-D Infrastructure : Display-Independent Software Framework, High-Speed Rendering Electronics, and Several New Displays. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XII*. [s.l.] : SPIE, 2005. s. 302-312. Dostupné z WWW: <[http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality\\_SPIE\\_2005\\_Chun\\_et\\_al.pdf](http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality_SPIE_2005_Chun_et_al.pdf)>. ISBN 9780819456373.

## DepthCube

DepthCube je výrobkem firmy Light Space Technologies. Principiálně je podobně jako systémy s pohyblivými prvky založen na setrvačnosti vnímání lidského oka. Oproti těmto systémům ale odstraňuje problémy pohyblivými částmi a nahrazuje je větším množstvím stacionárních prvků. V případě DepthCube se jedná o 20 za sebou uložených stínítek tvořených tekutými krystaly (technologie je popisována jako solid state multiplanar display, tedy nepohyblivý vícevrstvý displej). Na tato stínítka je promítán obraz a to vždy tak, že pouze jedno z nich je neprůhledné. V prostoru se tak postupně rozsvěčují body v 20 hloubkových úrovních<sup>158</sup>.



Obrázek 23 Schéma displeje DepthCube <sup>159</sup>

Nevýhodou tohoto displeje je především omezený počet zobrazitelných hloubkových úrovní, což vede k „vrstvenému“ zobrazení a tmavší barvy ve vzdálenějších vrstvách v důsledku útlumu jasu při průchodu vrstvami vpředu (průhlednost vrstvy je 88%). Výhodou je absence pohyblivých částí<sup>160</sup>.

DepthCube je zařízení s konvexním monoskopickým zobrazením s aktivní paralaxou.

---

<sup>158</sup> Light Space Technologies : FAQ: How It Works? [online]. 2006 [cit. 2011-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.lightspacetechnology.com>>.

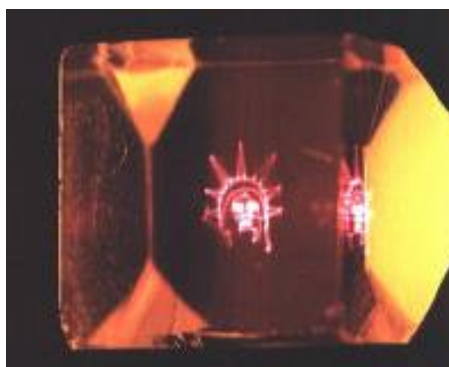
<sup>159</sup> Light Space Technologies : Home [online]. 2006 [cit. 2011-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.lightspacetechnology.com>>.

<sup>160</sup> SULLIVAN, Alan. A Solid-state Multi-planar Volumetric Display", SID Symposium Digest of Technical Papers, May 2003, Volume 34, Issue 1, pp. 1531-1533. In *SID Symposium Digest of Technical Papers*. [s.l.] : SID, 2003. s. pp. 1531-1533. Dostupné z WWW: <[http://www.loreti.it/Download/PDF/3D/Solid\\_state\\_multiplanar3D58\\_03.pdf](http://www.loreti.it/Download/PDF/3D/Solid_state_multiplanar3D58_03.pdf)>. ISSN 0003-0966X.

### **Solid FELIX 3D**

Zařízení Solid FELIX 3D pracuje na principu excitace molekul určitých látek (Er, Th, Pr) vložených do pevné látky (ZBLAN, YLiF<sub>4</sub>). Tato excitace se může dít pomocí dvou různých barev laserů (TSTF, dvou-kroková dvou-frekvenční excitace) nebo pomocí jednoho laseru.

Pomocí laserového paprsku určité frekvence dochází v látce k excitaci elektronů ze stavu  $E_1$  na vyšší energetickou hladinu  $E_2$ . Pokud je na hladině  $E_2$  ozářen jinou barvou laseru (850 nm), a tím pádem získá další kvantum energie, přechází do stavu  $E_3$ . Při návratu na původní hladinu  $E_1$  se přebytečná energie vyzáří v podobě fotonu ve viditelném spektru. Podle použité látky dochází ke vzniku červeného (Praseodymium), modrého (Thulium) nebo zeleného (Erbium) světla. Pro plně barevné displeje je možné při vytváření zobrazovacího krystalu střídat vrstvy (100 až 500  $\mu\text{m}$ ) s různými příměsemi.<sup>162</sup>



**Obrázek 24 Laserem vytvořené prostorové zobrazení<sup>161</sup>**

Kromě pevných látek, které se jeví jako nejvýhodnější pro realizaci prostorových displejů (není nutný další obal), byly pro prostorové zobrazení zkoušeny i plyny a tekutiny. Přestože je metoda excitace pevných látek pomocí laserů již dobře popsána, brání jejímu rozvoji problematické vytváření větších zobrazovacích krystalů při zachování dostatečné kvality a celkově vysoká cena zařízení.

Zařízení Solid Felix 3D představuje konvexní polyskopické zobrazení s aktivní paralaxou.

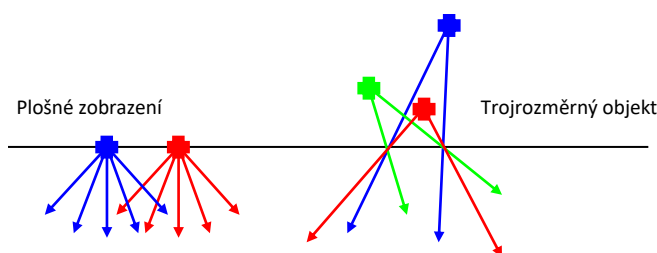
---

<sup>161</sup> LANGHANS, Knut, et al. SOLID FELIX : A Static Volume 3D-Laser Display. In *Proceedings of SPIE : Stereoscopic Displays and Applications XIV*. Santa Clara, CA : SPIE, 2003. s. 14. Dostupné z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.5.9139&rep=rep1&type=pdf>>.

<sup>162</sup> LANGHANS, Knut, et al. SOLID FELIX : A Static Volume 3D-Laser Display. In *Proceedings of SPIE : Stereoscopic Displays and Applications XIV*. Santa Clara, CA : SPIE, 2003. s. 14. Dostupné z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.5.9139&rep=rep1&type=pdf>>.

### Plazmový displej s přímým zobrazením v prostoru

Toto zařízení (Plasma Direct volume display, dále PDVD) je pouze ve stádiu laboratorní realizace a bylo představeno v roce 2006. Jako jediné dosud představené zařízení dokáže vytvářet obraz přímo ve vzduchu. Zařízení je založeno na použití vysoce výkonného laseru, který je zaostřen na určité místo v prostoru, kde vyvolá excitaci molekul vzduchu a dojde k plasmatickému výboji, přičemž je produkováno jasné bílé světlo<sup>163</sup>.



Obrázek 25 Princip HoloVizio systému a porovnání s běžným obrazem<sup>164</sup>

Využití tohoto principu pro běžné prostorové zobrazování se jeví jako nepravděpodobné, jelikož použití výkonných laserů je nebezpečné a při plasmatických výbojích je produkován hluk, který vzniká v důsledku smršťování vzduchu po zhasnutí výboje.

Zařízení produkuje zobrazení, které lze charakterizovat jako konvexní polyskopické zobrazení s aktivní paralaxou.

#### 3.3.5 Light field systémy

Systémy označované v této práci jako light field pracují na principu reprodukce světelného pole. Pokud je dostatečně velký předmět (větší než vlnová délka světla) osvětlen nekoherentním zdrojem světla, odráží se toto světlo od předmětu ve formě paprsků. Funkce popisující světelné paprsky v okolí sledovaného předmětu v průběhu času se nazývá plenoptická funkce (angl. plenoptic function). Tato funkce je pro potřeby počítačové grafiky redukována na pětirozměrnou funkci (dvojrozměrná pozice, čas, vlnová délka, velikost

---

<sup>163</sup> The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology [online]. 2006 [cit. 2011-09-03]. Three Dimensional Images in the Air. Dostupné z WWW:

<[http://www.aist.go.jp/aist\\_e/latest\\_research/2006/20060210/20060210.html](http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2006/20060210/20060210.html)>.

<sup>164</sup> Převzato z WWW: <<http://www.holografika.com/Technology/Technology-Principles.html>>



binokulární paralaxy), která dostačuje k popisu obrazu vznikajícího na sítnicích v realitě (je zanedbána vertikální paralaxa, světelné pole je popsáno pouze v jedné rovině apod.)<sup>165</sup>.

Světelné pole je možno popsat uměle za pomoci algoritmů počítačové grafiky nebo ho zachytit pomocí fotografie. Oba způsoby vycházejí ze stejného principu, a to pořízení dostatečného množství vzorků pole a jejich následné interpolace. V případě reálného předmětu lze vzorkování provádět například sekvenčně (pomocí jedné kamery)<sup>166</sup>, pomocí pole kamer<sup>167</sup> nebo pomocí jedné kamery<sup>168</sup>.

Pro reprodukci světelného pole je nutné, aby zařízení bylo schopno vyzařovat světelné paprsky tak, aby bylo možné ovlivnit jejich směr a intenzitu, případně barvu. Light field systémy je možno rozdělit na dvě hlavní kategorie, a to zařízení s pohyblivými částmi a bez pohyblivých částí.

### *ICT Graphics Labs 360° Light field display*

Experimentální zařízení, vyvinuté na University of Southern California, bylo poprvé představeno na konferenci SIGGRAPH 2007 a doposud nemá oficiální název (dále jako LF360). Displej umožňuje vytvářet obraz pozorovatelný horizontálně v úhlu 360°. Technologie je založena na použití vysokofrekvenčního projektoru a rotujícího zrcadla. Zrcadlo je tvořeno anizotropickým povrchem, který odráží světlo jen v malém horizontálním úhlu (1,25°) a ve velkém vertikálním úhlu. Tím dochází k horizontálnímu směřování paprsků

---

<sup>165</sup> ADELSON, Edward H.; BERGEN, James R. *Computational Models of Visual Processing*. Cambridge, MA : MIT Press, 1991. The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision, s. pp. 3-20. Dostupné z WWW: <[http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub\\_pdfs/elements91.pdf](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub_pdfs/elements91.pdf)>. ISBN 978-0-262-12155-2.

<sup>166</sup> LEVOY, Marc; SHADE, Jonathan. *Stanford Computer Graphics Laboratory* [online]. 29.5.1999 [cit. 2011-07-31]. A light field of Michelangelo's statue of Night. Dostupné z WWW: <<http://graphics.stanford.edu/projects/mich/lightfield-of-night/>>.

<sup>167</sup> WILBURN, Bennett, et al. High Performance Imaging Using Large Camera Arrays. In GROSS, Markus. *ACM SIGGRAPH 2005 Papers*. New York : ACM, 2005. s. 765-776. Dostupné z WWW: <[http://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray\\_Sig05.pdf](http://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray_Sig05.pdf)>.

<sup>168</sup> ADELSON, Edward A.; WANG, John Y. A. Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera. In *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1992. New York : IEEE Computer Society, 1992. s. 99-106. Dostupné z WWW: <[http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub\\_pdfs/plenoptic.pdf](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub_pdfs/plenoptic.pdf)>. ISSN 0162-8828.

a vzniku světelného pole. Ve vertikálním směru je obraz prakticky stejný, je proto možné sledovat obraz z různé výšky<sup>169</sup>.

Použitý projektor DLP<sup>170</sup>, je upraven tak, aby vyzařoval pouze bílé světlo. Úpravou ovládací elektroniky použitého projektoru bylo dosaženo zobrazení 24 černobílých obrazů místo jednoho snímku o bitové hloubce 24 bitů. Při frekvenci 200Hz to činí 4800 černobílých snímků za sekundu. Frekvence rotace zrcadla se pohybuje v rozpětí 15-20 Hz. Pro barevné zobrazení o dostatečné frekvenci je možno použít projektor s trojicí DMD<sup>171</sup> čipů.

Technologie rotujícího displeje má několik nevýhod. Především i přes vysokou rychlost otáčení zůstává zrcadlo viditelné a je obtížné zvětšovat použitelný zobrazovací objem (váha zrcadla, vyvážení rotujících částí, bezpečnost). Zařízení na tomto principu nemůže zprostředkovat vertikální paralaxu a v důsledku pohybu zrcadla dochází k deformacím obrazu.

Toto zařízení spadá do kategorie konvexního polyskopického zobrazení s aktivní paralaxou.

### *Integrální obraz*

Myšlenka integrálního obrazu se objevuje již v roce 1908 v článku M. G. Lippmanna<sup>172</sup>. Obraz je tvořen mikroobrazy, které jsou sledovány divákem přes pole sférických konvexních čoček (jedna čočka pro jeden každý mikroobraz). Díky optickým vlastnostem čoček vidí divák v závislosti na poloze (resp. na poloze oka diváka) v celé čočce vždy právě jeden bod mikroobrazu. Každé oko tak vidí jiný obraz v důsledku binokulární paralaxy. Rozlišení mikroobrazů a velikost čoček určuje kvalitu reprodukce světelného pole původního vzoru. V roce 2006 se podařilo vytvořit holografickou vrstvu nahrazující optické čočky, což umožnilo

---

<sup>169</sup> JONES, Andrew, et al. Rendering for an Interactive 360° Light Field Display. In Proceedings SIGGRAPH 2007. New York : ACM, 2007. s. 10. Dostupné z WWW:

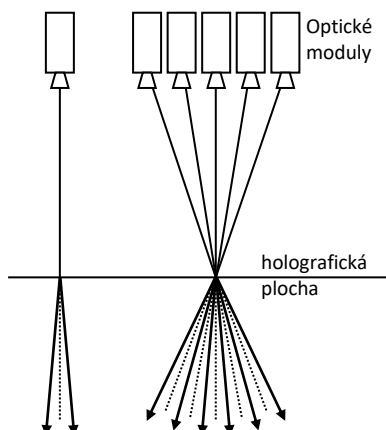
<[http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay\\_USCICT\\_SIGGRAPH2007.pdf](http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay_USCICT_SIGGRAPH2007.pdf)>.

<sup>170</sup> Digital Light Processing, projekční systém patentovaný firmou Texas Instruments

<sup>171</sup> Digital micromirror device, tento typ čipů je využíván v DLP projektorech

<sup>172</sup> LIPPMANN, Gabriel. Photography : Reversible Prints. Integral Photographs.. Překl. DURAND, Frédo. *Academy of the Sciences Session.*, 1908. s. 4.

vytvořit integrální obraz pomocí projekčního zařízení a významně zvětšit pozorovací úhel integrálních obrazů<sup>173</sup>.



**Obrázek 26 Princip light field projekce HoloVizio<sup>174</sup>**

### HoloVizio

Systém displejů řady HoloVizio<sup>175</sup> je postaven na použití speciální projekční plochy. Přestože výrobce neuvádí bližší podrobnosti, lze se domnívat, že se jedná o výše zmíněnou holografickou vrstvu. Obraz je vytvářen polem projektorů, které na zobrazovací plochu svítí z různých úhlů. Na projekční ploše dochází pouze k malému rozptylu dopadajících paprsků, takže je možné volbou použitého projektoru pro osvětlení daného bodu plochy ovlivnit směr paprsku a dochází ke vzniku světelného pole<sup>176</sup>. Zobrazení je možné vytvářet pomocí počítačové grafiky, nebo zachycovat obraz pomocí pole kamer<sup>177</sup>.

Zařízení na principu integrálních obrazů zastupují percepční kategorii polyskopických zobrazení s aktivní parallaxou. Podle konkrétní realizace mohou mít různou formu. V současnosti lze u displejů HoloVizio hovořit o plošné a konkávní formě.

<sup>173</sup> TAKAHASHI, Hideya; FUJINAMI, Hiromitsu; YAMADA, Kenji. *SPIE* [online]. 2006 [cit. 2011-09-03]. Holographic lens array increases the viewing angle of 3D displays. Dostupné z WWW: <<http://spie.org/x8756.xml?ArticleID=x8756>>.

<sup>174</sup> BALOGH, Tibor; KOVÁCS, Péter Tamás. *Osiris project* [online]. 2010 [cit. 2011-07-26]. Real-time 3D light field transmission. Dostupné z WWW: <<http://www.osiris-project.eu/presentations.php>>.

<sup>175</sup> Licenci vlastní Holografika Kft. (HU), <http://www.holografika.com>

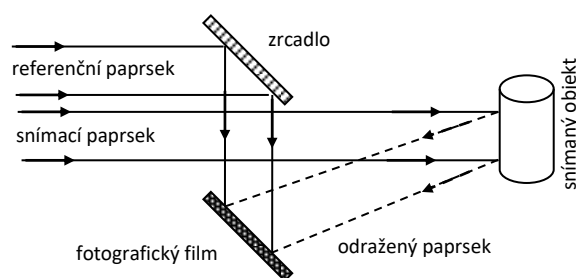
<sup>176</sup> BALOGH, Tibor, et al. HoloVizio - True 3D display system. *Proceedings of the First International Conference on Immersive Telecommunications* [online]. 2007, 1, [cit. 2011-07-31]. Dostupný z WWW: <<http://www.sigma-orionis.com/nem-summit.eu/Presentations/Day1/SessionsB/B2/HoloVizio.pdf>>. ISSN 978-963-9799-06-6.

<sup>177</sup> <http://www.holografika.com/Technology/Technology-Principles.html>

### 3.3.6 Hologram

Hologram a princip jeho vytvoření holografie<sup>178</sup> byla poprvé teoreticky popsána Dennisem Gaborem již v roce 1948. Tato metoda je založena na použití koherentního zdroje záření. Zdrojem takového záření je laser, který byl objeven v roce 1960<sup>179</sup>.

Existují dva základní typy hologramů: transmisní a reflexní. Klasické hologramy jsou pořizovány za pomoci dvou paprsků koherentního světla, které pochází ze stejného zdroje (k rozdělení paprsků se obvykle používá polopropustné zrcadlo). Jedním paprskem je přímo osvětlen fotocitlivý materiál (referenční paprsek), druhým paprsek (osvětlovací paprsek) je osvětlen snímáný objekt. Světlo odražené od snímaného objektu dopadá rovněž na fotocitlivý materiál, kde vzniká interferenční obrazec. Pokud je takto pořízený záznam znovu osvětlen světlem se stejnou frekvencí a ze stejného směru jako původní referenční paprsek, vzniká odrazem přesná optická podoba snímaného objektu. Takto vytvořené hologramy nesou informaci o vlnové fázi světla odraženého od snímaného objektu.<sup>181</sup>



Obrázek 27 Schéma aparatury pro pořízení holografického snímku<sup>180</sup>

Bentonovy (duhové) hologramy jsou známější variací klasických hologramů. Byly objeveny a patentovány v roce 1969 Stevenem Bentonem. Používají se například jako bezpečnostní prvky proti padělání bankovek a zboží. Hlavní výhodou těchto hologramů je možnost jejich sledování v bílém světle. Důsledkem použití úzké štěrbiny při jejich vytváření je fakt, že

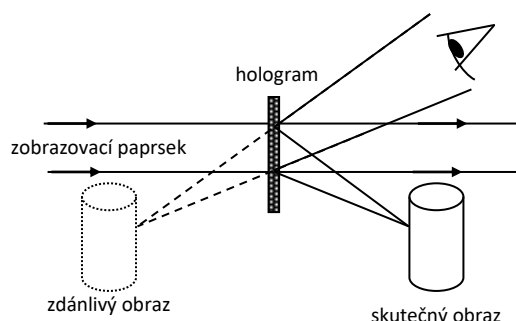
<sup>178</sup> z řeckého *holos* - úplný a *grafie* - záznam

<sup>179</sup> Holography, In Encyclopædia Britannica, Inc. Encyclopædia Britannica [online]. [s.l.] : Encyclopædia Britannica, Inc., 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.britannica.com/>>. ISBN 1-59339-292-3.

<sup>180</sup> Převzato a upraveno z WWW: <<http://www.britannica.com/EBchecked/topic/269607/holography>

<sup>181</sup> Holography, In Encyclopædia Britannica, Inc. Encyclopædia Britannica [online]. [s.l.] : Encyclopædia Britannica, Inc., 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.britannica.com/>>. ISBN 1-59339-292-3.

Bentonovy hologramy jsou schopny zaznamenat paralaxu pouze v jednom směru (obvykle horizontální paralaxa). Tyto hologramy jsou konstruovány tak, aby jednotlivé vlnové délky bílého světla lámaly pod různými úhly<sup>182</sup>. Dalším rozvojem původního konceptu bylo dosaženo plně barevných (full-color) hologramů<sup>183</sup>.



**Obrázek 28 Princip zobrazení holografického záznamu<sup>184</sup>**

Holografický záznam lze vytvářet i digitální cestou. Při tomto způsobu záznamu je vytvořeno dostatečné množství pohledů na zobrazovanou scénu a ty jsou následně zaznamenány na optický nosič v úhlu, v jakém byly pořízeny nebo vypočítány. Takto vytvořené hologramy jsou výrazně horší kvality, než hologramy vytvořené optickým způsobem.<sup>185</sup>

Hlavní nevýhodou hologramů je jejich obtížné pořizování a reprodukce. Přestože již byla představena technologie, která by dokázala vytvořit dynamický holografický obraz digitální cestou<sup>186</sup>, je celá tato problematika spíše na úrovni laboratorních pokusů.

### **Statický hologram**

Statické hologramy se dnes používají především v podobě reflexních duhových hologramů v roli ochranných prvků na výrobcích. Hologramy vytvářené konvenčním způsobem nejsou

<sup>182</sup> Z tohoto jevu plyne označení duhové hologramy.

<sup>183</sup> VAN RENESSE, Ruud. *Steve Benton : A pioneer of holography* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2011-07-23]. Dostupné z WWW: <[www.vanrenesse-consulting.com](http://www.vanrenesse-consulting.com)>.

<sup>184</sup> Převzato z WWW: <<http://www.britannica.com/EBchecked/media/18059/Gabors-original-method-for-creating-holograms>>

<sup>185</sup> *Hologram Suppliers* [online]. 2010 [cit. 2011-07-25]. Digital Hologram. Dostupné z WWW: <<http://www.hologramsuppliers.com/digital-hologram.html>>.

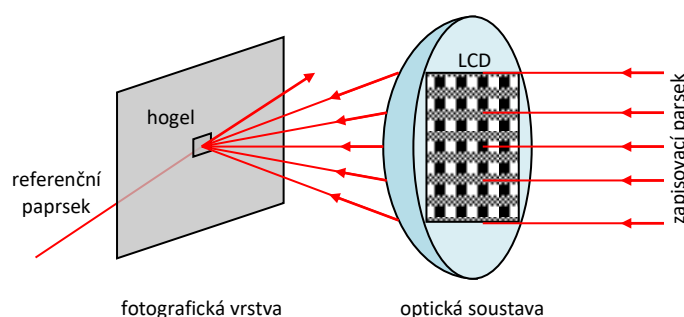
<sup>186</sup> University of Arizona. "Moving holograms: From science fiction to reality." *ScienceDaily*, 3 Nov. 2010. Web. 25 Jul. 2011.

pro prostorové zobrazování příliš vhodné (omezení v reprodukci barev, malý pozorovací úhel, velikost obrazu).<sup>187</sup>

### Digitální holografický tisk

Digitální holografický tisk se provádí mocí trojice barevných laserů. Tyto tisky nabízejí velký pozorovací úhel a mohou obsahovat vertikální i horizontální paralaxu. Je možné je vytvářet monochromaticky i barevně.

Těchto parametrů je dosaženo tiskem výsledného hologramu po malých částech (cca 1 až 2 mm<sup>2</sup>), nazývaných hogels (holografický pixel). Rozdělení obrazu na hogely umožňuje libovolné rozšiřování zobrazení. Tisk lze provádět i poměrně velkou rychlostí (formát A1 za cca. 3 hodiny<sup>189</sup>).



Obrázek 29 Princip záznamu hogelu pomocí SLM<sup>188</sup>

Hogel je vytvořen podobně jako klasický holografický záznam pomocí dvojice laserových paprsků. Místo toho, aby byl jeden z paprsků odražen od modelu, prochází přes systém nazývaný SLM (Spatial Light Modulator). Jeho hlavní částí je LCD panelem, který definuje, jak intenzivní bude vyzařování světla z hogelu v daném směru. Následně je paprsek zaostřen a dopadá na filmovou vrstvu. Referenční paprsek dopadá na záznamové médium z jiného směru. Výsledkem je velmi kvalitní reprodukce světelného pole.

<sup>187</sup> MCALLISTER, David F. *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*. New York : Wiley and Sons, 2000. Display Technology: Stereo & 3D Display Technologies, s. 50. Dostupné z WWW: <<http://research.csc.ncsu.edu/stereographics/wiley.pdf>>. ISBN 9780471443391.

<sup>188</sup> CHUN, Won-Suk, et al. Spatial 3-D Infrastructure : Display-Independent Software Framework, High-Speed Rendering Electronics, and Several New Displays. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XII*. [s.l.] : SPIE, 2005. s. 302-312. Dostupné z WWW: <[http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality\\_SPIE\\_2005\\_Chun\\_et\\_al.pdf](http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality_SPIE_2005_Chun_et_al.pdf)>.

<sup>189</sup> *Zebra Imaging* [online]. 2010 [cit. 2011-09-11]. Holographic Imagers. Dostupné z WWW: <<http://www.zebraimaging.com/products/holographic-imagers>>.

Výhodou tohoto systému je relativně rychlá a levná produkce tisků s vysokou kvalitou. Nevýhodou oproti tradičním hologramům je nižší rozlišovací schopnost (u hologramů pořízených tradičním způsobem je záznam přesný teoreticky až do velikosti vlnové délky laseru, kterým záznam vznikl).

### **Holografický displej**

Aktualizovatelné holografické displeje pracují na základě uměle vytvořeného difrakčního obrazce, který je vytvářen zařízením SLM (obvykle pomocí LCD). Principiálně se podobají systému holografického tisku. Holografický snímek je zapsán do materiálu displeje, zobrazen a následně smazán. Momentálně je rychlost aktualizace obrazu velmi malá, řádově v délce několika minut.

Kromě finanční náročnosti celé technologie je další překážkou jejího rozšíření nutný výpočetní výkon pro vytvoření dostatečného množství pohledů na zobrazovaný model. Tyto pohledy pak tvoří základ pro výpočet difrakčního obrazce, který je zapsán do konkrétního hogelu. Pro displej o šířce přibližně 0,5 m a úhel pohledu (FOV) 60° to pro plnou paralaxu představuje  $10^{10}$  vypočítaných pixelů (10 giga pixelů). Kvůli snížení výpočetní obtížnosti se často obraz vytváří pouze s horizontální paralaxou a je zapisován po sloupcích, ačkoliv technologie umožňuje i plnou paralaxu.<sup>190</sup>

### **3.3.7 Komparace percepčních charakteristik**

Při klasifikaci jednotlivých prostředků prostorového zobrazování je v této práci vycházeno především z percepčních charakteristik, které se objevují napříč technologiemi, bez ohledu na konstrukci a princip konkrétních zařízení. Je možné se domnívat, že i technologie, které se objeví v blízké budoucnosti, bude možné charakterizovat podle stejných percepčních aspektů a řadit je do existujících percepčních kategorií. V tabulce 2 jsou uvedeny technologie (např. anaglyf), případně konkrétní zástupci významných technologických skupin (např. PDVD), popsané v této práci a zařazené do příslušných percepčních kategorií. U některých

---

<sup>190</sup> SLINGER, Chris; CAMERON, Colin; STANLEY, Maurice. Computer-Generated Holography as a Generic Display Technology. *Computer*. 2005, 38, 8, s. 46-53. Dostupný také z WWW: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.7986&rep=rep1&type=pdf>. ISSN 0018-9162.

technologií (např. aktivní stereoprojekce) je technologie zařazena do více kategorií, jelikož její využití je široké a má mnoho forem.

### 3.4 Kognitivní aspekty prostorového zobrazení

Percepcí prostoru, prostředí a objektů, resp. modelů v kontextu získávání informací, myšlenkových procesů a učení se zabývala řada psychologických směrů. Zde lze uvést především gestaltismus (Max Wertheimer, Wolfgang Köhler aj.) zkoumající význam způsobu organizace percepčního pole či efektivnost a rychlost učení v závislosti na způsobu předkládání a organizaci osvojovaného materiálu, Tolmanův neobehaviorismus (Edgard C. Tolman) s teorií kognitivního behaviorismu zkoumajícího kognitivní funkce a procesy či kognitivní mapy<sup>191, 192</sup> nebo informační paradigma ovlivňující psychologii poznávacích procesů<sup>193</sup>.

**Tabulka 2 Percepční charakteristiky prostředků prostorového zobrazování**

	Paralaktické								Direct volume				LF	Holografie			
	Anaglyf	Chromadepth	Stereoskop	Autostereogram	HMD	CAVE	Stereoprojekce	Autost. displeje	PDVD	Perspecta	DepthCube	SolidFelix 3D	LF360	HoloVizio	Klasický hologram	Digitální holo. tisk	Holografický displej
Počet diváků																	
Monoskopické	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	+	+	+	+
Polyskopické	+	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Forma																	
Konvexní	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-	-
Plošný	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Konkávní	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Paralaxa																	
Pasivní	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aktivní	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<sup>191</sup> HOSKOVEC, Jiří; NAKONEČNÝ, Milan; SEDLÁKOVÁ, Miluše. *Psychologie XX. století I.*. Praha : Karolinum, 1999. 295 s. ISBN 80-7066-714-1.

<sup>192</sup> HUNT, Morton. *Dějiny psychologie*. Praha : Portál, 2000. 710 s. ISBN 80-7367-175-1.

<sup>193</sup> DRISCOLL, M. *Psychology of learning for instruction*. Needham Heights, MA : Allyn & Bacon. 1993.



Dominantním soudobým psychologickým směrem zabývajícím se danou problematikou je kognitivní psychologie, která se rozvíjí od 60. let 20. století (Ulric Neisser, Allan Paivio aj.) a zaměřuje se na studium poznávacích procesů, zvl. smyslového poznávání, představ, obrazotvornosti, myšlení, paměti a učení, které chápe jako procesy zpracovávání informací. Podstatou těchto poznávacích procesů je dle kognitivní psychologie spíše schopnost organismu mentálně reprezentovat jednotlivé aspekty světa a operovat jimi, než provádět operace materializované<sup>194</sup>.

Vedle kognitivní psychologie se sledovanou problematikou dlouhodobě zabývá též umělá inteligence (Marvin Minsky, Allen Newell, Herbert Simon, Kevin Warwick aj.), především v disciplíně vnímání prostředí (angl. Perception Problems)<sup>195</sup>, a z pohledu interdisciplinární vědy kognitivní věda, resp. nauka (angl. Cognitive Science) konstituovaná koncem 70. let 20. století. Důvodem vzniku kognitivní nauky byla právě potřeba mezioborové spolupráce informatiky, psychologie, umělé inteligence, lingvistiky, neurofyzologie, antropologie a filozofie s cílem odhalit zákonitosti kognitivních procesů, vnímání, myšlení a učení<sup>196</sup>.

Při posuzování didaktických aspektů prostorového zobrazování je nutné zohlednit specifické kognitivní procesy spojené s vnímáním prostoru člověkem i vnímáním a učením obecně. Kognitivní psychologie, resp. kognitivní věda, zkoumá vedle kognitivních procesů a mentální reprezentace řadu relevantních konceptů jako kognitivní struktury, kognitivní strategie, mentální modely, sémantické sítě, druhy paměti, metakognici nebo druhy inteligence. Některé studie deklarují, že existuje přímá spojitost mezi formou prezentace modelů (plošné nebo prostorové zobrazení) a jeho vnitřní reprezentací studenty<sup>197</sup>, referují o genderových

---

<sup>194</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 30

<sup>195</sup> MAŘÍK, Vladimír; ŠTĚPÁNKOVÁ, Olga; LAŽANSKÝ, Jiří. *Umělá inteligence*. Praha : Academia, 2003. 470 s. ISBN 80-200-0472-6.

<sup>196</sup> THAGARD, Paul. *Úvod do kognitivní vědy : mysl a myšlení*. 1. vyd. Praha : Portál, 2001. 232 s. ISBN 80-7178-445-1.

<sup>197</sup> SCHNABEL, Marc A.; KVAN, Thomas. Spatial understanding in immersive virtual environments. *International Journal of Architectural Computing*. 2003, 1, 3, s. 435-448. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.4578&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 1478-0771.

rozdílech ve vnímání prostoru a prostorových zobrazení<sup>198</sup> a dalších specifikách kognitivních procesů a konceptů ve spojitosti s vnímáním prostoru.

### 3.4.1 Prostorová inteligence

Pojem prostorová inteligence je z hlediska zaměření této práce pojmem s vysokou mírou relevance. Význam tohoto pojmu však není různými autory chápán a definován jednotně.

Intelligence (z lat. inter-legere, rozlišovat, poznávat, chápat) je obecně definována jako rozumová schopnost řešit nově vzniklé nebo obtížné situace; schopnost učit se ze zkušeností; schopnost přizpůsobit se; schopnost správného určení podstatných souvislostí a vztahů, pomocí nichž řešíme nové problémy a orientujeme se v nastalých situacích.<sup>199</sup>

Pod názvem prostorová inteligence (spatial intelligence) je tento specifický soubor schopností poprvé explicitě implementován v systému sedmi druhů inteligence Howarda Gardnera<sup>200</sup>:

- lingvistická (jazyková) inteligence
- logicko-matematická inteligence
- hudební inteligence
- vizuálně -prostorová inteligence
- tělesná (kinestetická) inteligence
- sociální (interpersonální) inteligence
- osobní (intrapersonální) inteligence

Podle Gardnera je jednotlivými druhy inteligence každý jednotlivec nadán v různé míře, přičemž platí, že existuje pouze malá korelace mezi obecnou inteligencí a inteligencí prostorovou, resp. mezi jednotlivými druhy inteligencí navzájem. Sama prostorová

---

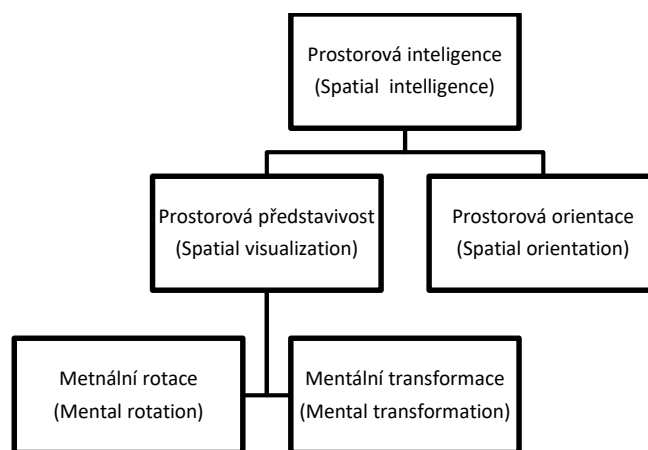
<sup>198</sup> NÉMETH, Brigitta; HOFFMANN, Miklós Gender differences in spatial visualization among engineering students. In *Annales Mathematicae et Informaticae* 33 (2006). Hungaria, Eger : [s.n.], 2006. s. 169–174. Dostupné z WWW: <emis.bibl.cwi.nl/journals/AMI/2006/nemeth.pdf>.

<sup>199</sup> NAKONEČNÝ, Milan. *Psychologie osobnosti*. Vyd. 2. Praha : Academia, 1997. 336 s. ISBN 80-200-0628-1.

<sup>200</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str 523

inteligence potom dle Gardnera zahrnuje schopnost „rozpoznat a využít vzory v otevřeném i více uzavřeném prostoru“<sup>201</sup>.

Prostorová inteligence, někdy též prostorová schopnost, resp. dovednost (spatial ability, spatial aptitude, spatial skills, spatial cognition) je nyní vnímána jako společné označení pro více specifických schopností (dovedností), např. schopnosti prostorové představivosti nebo schopnosti prostorové orientace. Sorby označuje za schopnosti (angl. ability) takové vlastnosti člověka, které jsou vrozené a nejsou získané tréninkem. Za dovednosti (angl. skills) pak takové, které jsou důsledkem učení, nebo jsou získány během procvičování. Pokud není známa přesná historie zkoumaných subjektů, lze velmi obtížně odlišit, které projevy prostorové inteligence jsou vrozené a které získané<sup>202</sup>.



**Obrázek 30 Klasifikace prostorových dovedností podle Tarterové<sup>203</sup>**

V této práci bude nadále používán pojem prostorová inteligence v širším významu pro postižení a zahrnutí různých dílčích pojmů vztahujících se k dané oblasti schopností, přestože někteří autoři pojem prostorová inteligence neužívají. Například McGee<sup>204</sup> definuje

---

<sup>201</sup> SMITH, Mark K. *The encyclopedia of informal education* [online]. 2008 [cit. 2011-07-27]. Howard Gardner and multiple intelligences. Dostupné z WWW: <<http://www.infed.org/thinkers/gardner.htm>>.

<sup>202</sup> SORBY, Sheryl A. Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphic Journal*. 1999, vol. 63, no. 2, s. 21-32. Dostupný také z WWW: <<http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/126/122>>. ISSN 1949-9167.

<sup>203</sup> SORBY, Sheryl A. Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphic Journal*. 1999, vol. 63, no. 2, s. 21-32. Dostupný také z WWW: <<http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/126/122>>. ISSN 1949-9167.

<sup>204</sup> MCGEE, Mark G. Human Spatial Abilities : Psychometric Studies and Environmental, Genetic, Hormonal, and Neurological Influences. *Psychological Bulletin*. 1979, Vol. 86, No. 5, s. 889-918. podle LIEU, Dennis Kenmon;

prostorovou inteligenci jako „schopnost mentálně manipulovat, otáčet, přetáčet nebo převracet obrazové reprezentace vizuálních podnětů“. Zahrnuje do ní následující schopnosti:

- prostorové vnímání (spatial perception) - schopnost rozpoznávat horizontální a vertikální směr
- prostorovou představivost - schopnost mentální transformace (rotace, posunu, zrcadlení) nebo mentální úpravy (zkroucení, složení, otočení) 2D obrázků a/nebo 3D objektů
- mentální rotaci - schopnost mentálního otočení 3D objektů v prostoru a následná schopnost stejné operace s jiným objektem
- prostorové vztahy - schopnost představit si vztahy mezi dvěma objekty v prostoru (např. vzájemné překrývání)
- prostorovou orientaci - schopnost osoby určit svou vlastní polohu a orientovat se v daném prostředí

Naproti tomu Tarterová<sup>205</sup> hovoří o prostorových dovednostech (angl. spatial skills) a dělí je podle mentálních procesů nutných k plnění různých úkolů. Rozlišuje dvě hlavní a oddělené složky prostorové inteligence: prostorovou představivost a prostorovou orientaci (angl. spatial visualization, spatial orientation). Prostorová představivost umožňuje mentálně pohybovat objektem. Prostorová orientace umožňuje mentálně měnit pozici, ze které je pozorován objekt, přičemž ten zůstává na stejném místě. Prostorovou představivost pak Tarterová dále dělí na mentální rotace a mentální transformace<sup>206</sup>. Rozdíl spatřuje v tom, že při mentálních rotacích je manipulován celý objekt, zatímco při mentálních transformacích je transformována pouze část objektu.

Prostorová inteligence, resp. její složky se v průběhu života rozvíjejí. Podle teorie genetické epistemologie Jeana Piageta<sup>207</sup> k tomu dochází ve třech fázích. V první fázi spadající do předoperačního stádia vývoje poznávacích schopností a myšlení se rozvíjejí schopnosti

---

SORBY, Sheryl Ann. *Visualization, modeling, and graphics for engineering design*. [s.l.] : Delmar, 2009. 1088 s. ISBN 978-1-4018-4249-9.

<sup>205</sup> Tartre, L.A. (1990). Spatial skills, gender, and mathematics. In E. H. Fennema & G. C. Leder (Eds.), *Mathematics and Gender*, (pp. 27-59). New York, NY: Teachers College Press.

<sup>206</sup> Ibidem

<sup>207</sup> LIEU, Dennis Kenmon; SORBY, Sheryl Ann. *Visualization, modeling, and graphics for engineering design*. [s.l.] : Delmar, 2009. 1088 s. ISBN 978-1-4018-4249-9.

mapování. Tyto schopnosti jsou především dvojdimenzionální a vyvíjejí se u dětí obvykle ve věku 3 až 5 let. Děti jsou schopny rozlišit vzájemnou blízkost dvou předmětů, jejich příslušnost ke skupině nebo naopak jejich izolovanost apod. Typickým projevem získání této schopnosti je dovednost skládat puzzle.

Ve druhé fázi vývoje děti získávají projektivní prostorové dovednosti. Tato fáze zahrnuje rozvoj schopnosti představovat si trojrozměrné předměty, předvídat jejich podobu z různých pozorovacích míst, či představovat si jejich podobu po otočení či jiné transformaci. Většina dětí získá tyto schopnosti ve stádiu formálně operačním ve věku 12 až 15 let u objektů známých z každodenního života. Pokud se jedná o předměty neznámé, může u těchto operací docházet k obtížím i v pozdějším věku.

Ve třetí fázi jsou lidé schopni pracovat s konceptem plochy, objemu, vzdálenosti, otočení, posunutí a zrcadlení. V této fázi je člověk schopen kombinovat výše uvedené představy o rozměrech s vlastní prostorovou představivostí<sup>208</sup>.

Úroveň rozvoje prostorové inteligence je závislá na pohlaví, jak dokazují četné studie<sup>209</sup>. Némethová a Hoffman<sup>210</sup> uvádějí řadu dostupných studií zabývajících se experimentálně danou problematikou. Výzkumy byly prováděny na širokém spektru subjektů (studenti různých typů a úrovní škol, v Polsku, Japonsku, USA a dalších zemích). Výsledkem těchto studií je potvrzení výše uvedeného faktu.

Studie Górské<sup>211</sup> z roku 2005 přináší zajímavý longitudinální výzkum, který sleduje úroveň prostorové inteligence u studentů Cracow University of Technology (CUT). V rámci měření na CUT byly sledovány změny v úrovni prostorové inteligence studentů před a po absolvování předmětu Engineering Computer Graphics (později Computer Graphics and

---

<sup>208</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821.

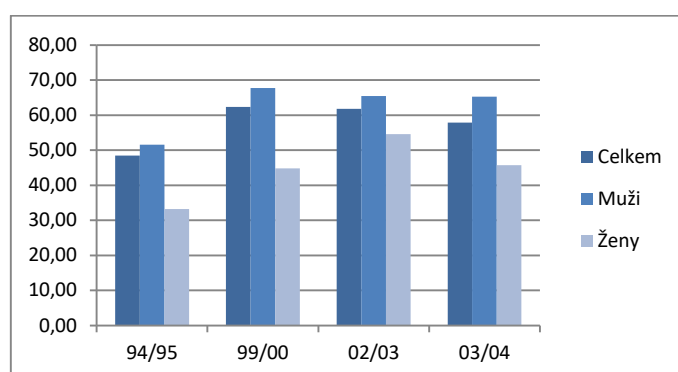
<sup>209</sup> DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-02-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>.

<sup>210</sup> NÉMETH, Brigitta; HOFFMANN, Miklós Gender differences in spatial visualization among engineering students. In *Annales Mathematicae et Informaticae* 33 (2006). Hungaria, Eger : [s.n.], 2006. s. 169–174. Dostupné z WWW: <[emis.bibl.cwi.nl/journals/AMI/2006/nemeth.pdf](http://emis.bibl.cwi.nl/journals/AMI/2006/nemeth.pdf)>.

<sup>211</sup> GÓRSKA, Renata A. Spatial Imagination an Overview of the Longitudinal Research at Cracow University of Technology. *Journal for Geometry and Graphics*. 2005, 9, s. 201-208. Dostupný také z WWW: <<http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg09/j9h2gors.pdf>>. ISSN 1433-8157.

Multimedia). Ze získaných dat, mimo jiné, vyplývá, že ženy dosahují dlouhodobě nižších skóre.

Příčina tohoto rozdílu není dosud přesně objasněna, ale uvažuje se o vlivu mužských pohlavních hormonů a vlivu prostředí. S nejvyšší pravděpodobností se jedná o kombinaci mnoha dílčích faktorů<sup>213</sup>. Jedna ze studií, provedených na toto téma<sup>214</sup>, se zaměřuje například na vliv úrovně hladiny hormonů během menstruačního cyklu na prostorovou představivost.



**Graf 1 Dlouhodobý výzkum CUT (upraveno)<sup>212</sup>**

Naproti tomu Voyer, Voyerová a Bryden<sup>215</sup> ve svém výzkumu uvádí, že rozdíly mezi pohlavími se objevují až od 13 let věku a s věkem se zvětšují. Z toho usuzují, že na nižším výkonu žen se částečně podílí přijetí společenských stereotypů, které se věkem prohlubují. Pokud ženy prodělají příslušný trénink, jejich výkony se přibližují k mužským. Rozdíly však přetrvávají u testů mentálních rotací, obzvláště při použití 3D objektů.

<sup>212</sup> GÓRSKA, Renata A. Spatial Imagination an Overview of the Longitudinal Research at Cracow University of Technology. *Journal for Geometry and Graphics*. 2005, 9, s. 201-208. Dostupný také z WWW: <<http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg09/j9h2gors.pdf>>. ISSN 1433-8157.

<sup>213</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821. [e-článek]

<sup>214</sup> HAUSMANN, Markus, et al. Sex Hormones Affect Spatial Abilities During the Menstrual Cycle. *Behavioral Neuroscience*. 2000, 114, s. 1245-1250. Dostupný také z WWW: <<http://www.bio.psy.ruhr-uni-bochum.de/papers/CycleMRTmh.pdf>>. ISSN 0735-7044.

<sup>215</sup> VOYER, Daniel; VOYER, Susan; BRYDEN, Mark Philip. Magnitude of Sex Differences in Spatial Abilities : A Meta-Analysis and Consideration of Critical Variables. *Psychological Bulletin*. 1995, 117, 2, s. 250–270. podle DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-02-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>.

Některé studie se snaží prokázat vlivy vnějších faktorů na rozvoj prostorové inteligence. Spekuluje se o vlivu videoher a počítačových her obecně<sup>216</sup> nebo hraní si se stavebnicemi v dětství. Obecně na rozvoj prostorové inteligence pozitivně působí aktivity vyžadující vizuálně-motorickou koordinaci<sup>217</sup>, tedy například provozování určitých sportů. Je ovšem možné vyslovit domněnku, že aktivní provozování výše uvedených aktivit je naopak důsledkem vyšší prostorové inteligence a tudíž, že daný jedinec v těchto aktivitách dosahuje úspěchu a uspokojení.

Prostorovou inteligenci je možno měřit pomocí speciálních testů, přičemž tyto testy jsou obvykle koncipovány se záměrem měřit jen některé složky prostorové inteligence. Mezi nejznámější testy patří MCT (Mental Cutting Test), MRT (Mental Rotation Test), MPFBT (Minnesota Paper Form Board Test), PSVT (Purdue Spatial Visualization Test), SBST (Santa Barbara Solids Test) nebo PFT (Paper Folding Test).

Relevance testů prostorové inteligence a jejich vzájemné vztahy jsou dlouhodobě zkoumány. Linnová a Petersenová<sup>218</sup> ve své práci identifikují čtyři základní směry těchto výzkumů:

- **díferenční, rozdílové** – V těchto studiích byla prostorová inteligence zkoumána ve vztahu k různým populačním skupinám.
- **psychometrické** – V těchto studiích byly hledány faktory ovlivňující prostorovou inteligenci pomocí porovnávání výkonu subjektů v různých úkolech.
- **kognitivní** – V těchto studiích jsou hledány univerzální procesy podporující či oslabující výkonnost ve specifických úkolech.
- **strategické** – Tyto studie jsou zaměřené na účinné strategie řešení problémů.

---

<sup>216</sup> FENG, Jing; SPENCE, Ian ; PRATT, Jay Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition. In *Psychological Science*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 850 – 855. ISSN 1467-9280.

<sup>217</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821. [e-článek]

<sup>218</sup> LINN, Marcia C.; PETERSEN, Anne C. Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis. *Child Development*. 1985, 56, 6, s. 1479-1498. Podle DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>. [e-kniha]

Přestože se objevují kritiky těchto testů, lze konstatovat, že vzhledem k jejich časté aplikaci mají dostatečnou relevanci. Testy prostorové inteligence jsou vždy zadávány formou nonverbálních otázek.

Úroveň prostorové inteligence je mnohými autory označována za klíčovou pro úspěšnost v technických oborech<sup>219</sup>. Benbow, Lubinski a Webbová<sup>220</sup> ve své práci dokazují, že existuje významná korelace mezi úrovní prostorové inteligence a úspěšností v testech zaměřených na matematické dovednosti. Sorby<sup>221</sup> se zaměřuje na rozvoj prostorové inteligence u studentů inženýrství a označuje ji za jeden z rozhodujících faktorů úspěchu ve studiu.

Youngblutová<sup>222</sup> ve svém článku podává přehled o více než šedesáti projektech věnovaných vzdělávání pomocí virtuální reality (větší část projektů využívala HMD a patří tedy do oblasti prostorového zobrazování). Přesto pouze jeden z těchto projektů zkoumal vztah mezi prostorovou inteligencí a efektivitou učení (resp. subjektivně vnímaným přínosem pro studenty a rychlostí provedení úloh<sup>223</sup>).

Chen<sup>224</sup> rovněž upozorňuje na celkově malou pozornost věnovanou vztahu prostorové inteligence a využití virtuální reality v procesu učení. Chen popisuje výzkum zaměřený na vztah prostorové inteligence a virtuální reality realizovaný na vzorku 184 uchazečů o řidičské oprávnění, přičemž vychází z předpokladu snížení kognitivní zátěže v důsledku použití virtuální reality u osob s nižší úrovní prostorové inteligence. V tomto výzkumu nebyl

---

<sup>219</sup> DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-02-02]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>.

<sup>220</sup> WEBB, Rose Mary; LUBINSKI, David; BENBOW, Camilla Persson. Spatial Ability: A Neglected Dimension in Talent Searches for Intellectually Precocious Youth. *Journal of Educational Psychology*. 2007, vol. 99, 2, s. 397–420. Dostupný také z WWW: <<http://www.appstate.edu/~webbrm/jep2007.pdf>>. ISSN 0022-0663.

<sup>221</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821.

<sup>222</sup> YOUNGBLUT, Christine. *Educational Uses of Virtual Reality Technology* [online]. Alexandria (Virginia, USA) : [s.n.], 1998 [cit. 2011-09-14]. Dostupné z WWW: <[www.hitl.washington.edu/sciww/youngblut-edvr/D2128.pdf](http://www.hitl.washington.edu/sciww/youngblut-edvr/D2128.pdf)>.

<sup>223</sup> WINN, William. The Virtual Reality Roving Vehicle Project. *T.H.E. Journal*. 1995, Vol. 23, No.5 podle YOUNGBLUT, Christine. *Educational Uses of Virtual Reality Technology* [online]. Alexandria (Virginia, USA) : [s.n.], 1998 [cit. 2011-09-14]. Dostupné z WWW: <[www.hitl.washington.edu/sciww/youngblut-edvr/D2128.pdf](http://www.hitl.washington.edu/sciww/youngblut-edvr/D2128.pdf)>.

<sup>224</sup> CHEN, Chwen Jen. Are Spatial Visualization Abilities Relevant to Virtual Reality?. *E-Journal of Instructional Science and Technology* [online]. 2006, Vol. 9, No. 2, [cit. 2011-09-14]. Dostupný z WWW: <<http://eric.ed.gov/PDFS/EJ846719.pdf>>. ISSN 1324-0781.



zjištěn signifikantní rozdíl mezi výsledky uchazečů s nízkou a vysokou úrovní prostorové inteligence.

### 3.4.2 Mentální reprezentace

Koncept mentální reprezentace je ve spojitosti s percepcí prostoru, prostředí a objektů a zpracováním získaných informací, resp. ve spojitosti s prostorovým zobrazováním, důležitou oblastí vědeckého zájmu kognitivní psychologie a kognitivní vědy. Mentální reprezentace je chápána jako část zážitkového pole odkazující k jiné části zážitkového pole, a to cestou postupného vzdalování se od vazby na konkrétní obsahy v posloupnosti obraz - znak - symbol. Je pojímána jako informace, která zastupuje v mysli určitý aspekt vnitřního či vnějšího světa, se kterou je možné dále operovat. Z hlediska hlavních druhů těchto aspektů je zkoumána mentální reprezentace poznatků, mentální reprezentace představ a mentální reprezentace vnějšího prostředí soustředěná na prostorové vztahy, tzv. kognitivní mapy<sup>225</sup>.

V rámci mentální reprezentace poznatků lze rozlišovat reprezentaci analogickou, kde jsou atributy reprezentace podobné atributům reálného předmětu, jak je tomu v případě obrazů, a reprezentaci symbolickou, kde je vztah mezi slovem a významem náhodný, ale dohodnutý. Podle klasické epistemologie lze rozlišit dva druhy struktury znalosti: deklarativní (fakta, která je možné tvrdit) a procedurální (naučené dovednosti). Moderní kognitivní psychologie z toho základního dělení vychází a rozlišuje též deklarativní a procedurální druh paměti. Z hlediska reprezentace poznatků v deklarativní paměti rozlišuje modely založené na kategoriích pojmů<sup>226</sup>, sémantických sítích, jejichž uzly reprezentují pojmy propojené vazbami<sup>227</sup>, schématech zaměřených na řešení nějaké úlohy<sup>228</sup> nebo scénářích adekvátního

---

<sup>225</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5.

<sup>226</sup> KATZ, Jerrold J.; FODOR, Jerry A. The Structure of a Semantic Theory. *Language*. 1963, Vol. 39, No. 2, s. 170-210. Dostupný také z WWW: <<http://staff.um.edu.mt/albert.gatt/home/teaching/dl/KatzFodor63.pdf>>.

<sup>227</sup> COLLINS, Allan M.; QUILLIAN, Ross M. Retrieval time from semantic memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*. 1969, Vol. 8, No. 2, s. 240–247. Dostupný také z WWW: <<http://leadserv.u-bourgogne.fr/~yannick/PDF/Article/Collins1969>>.

<sup>228</sup> RUMELHART, David E.; ORTONY, Andrew. *The representation of knowledge in memory*. San Diego : Center for Human Information Processing, Dept. of Psychology, University of California, 1976. 61 s.

pořadí událostí pro zvládnání situací<sup>229</sup>. Z hlediska reprezentace poznatků v procedurální paměti jsou zkoumány produkční systémy jako soubory pravidel a podmínek<sup>230</sup>.

### Hypotéza dvojího kódu

Podle hypotézy dvojího kódu navržené Paiviem<sup>231</sup> v 60. letech 20. století jsou informace reprezentovány dvojím způsobem, v podobě analogového (analogického) a symbolického kódu. Slova jsou podle Paivia reprezentována symbolickým kódem (arbitrárně, na základě neodvoditelného, ale dohodnutého kódu). Analogové kódy zachovávají základní percepční znaky toho, co reprezentují. V případě zrakových podnětů, jsou to tvary, barva apod. Oba druhy kódování organizují informace do znalostí, které lze dále zpracovávat, nějak ukládat, a později dokonce i vybavit pro další užití<sup>232</sup>.

Oba mechanismy zpracování informací pracují na sobě nezávisle. Dochází však k vzájemnému ovlivňování a interferenci s percepčními procesy. Brooks<sup>233</sup> ve svých experimentech dokazuje, že při současném využívání analogových vizuálních představ a vizuální percepce dochází k jejich interferenci a komplikacím v mentálních manipulacích s představami.

Někteří kognitivní psychologové poukazují na spojitost mezi vizuální percepcí a vizuální představivostí. Hypotéza funkční ekvivalence říká, že vizuální představy nejsou identické s vizuálními vjemy, ale jsou ekvivalentní funkčně. Tyto funkčně ekvivalentní představy jsou analogiemi fyzikálních jevů, které zastupují<sup>234</sup>.

---

<sup>229</sup> SCHANK, Roger C.; ABELSON, Robert P. *Scripts, Plans, Goals and Understanding : An Inquiry into Human Knowledge Structures*. Hillsdale : Erlbaum, 1977. s. ISBN 0-470-99033-3.

<sup>230</sup> ANDERSON, John Robert. *The Architecture of cognition*. Cambridge : Harvard University Press, 1983. 345 s. ISBN 0-8058-2233-X.

<sup>231</sup> PAIVIO, Allan. Mental imagery in associative learning and memory. *Psychological Review*. 1969, Vol. 76, No. 3, s. 241-263.

<sup>232</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 248

<sup>233</sup> BROOKS, Lee. Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*. 1968, Vol. 22, No. 5, s. 349–368.

<sup>234</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 256

Základní pokus zkoumající hypotézu funkční ekvivalence provedli Shepard a Metzlerová<sup>235</sup> pomocí testu mentálních rotací. Při tomto pokusu byla testovaným subjektům předkládána plošná zobrazení trojrozměrných předmětů a jejich rotací. Úkolem testovaných osob bylo rozhodnout, zda obě zobrazení představují stejný předmět. Při tomto pokusu byla zjištěna lineární závislost mezi stupněm otočení zobrazovaného předmětu a rychlostí odpovědi testovaných osob. V důsledku tréninku se čas na vyřešení úlohy zkracuje, ale pouze u známých úloh. Při použití nového neznámého objektu je reakční čas nezměněn.

Farahová<sup>236</sup> ve svém výzkumu dokazuje, že zraková představivost (užití představ reprezentujících zrakové charakteristiky, jako jsou bravy a tvary) může být reprezentována odlišně od prostorové představivosti (představy reprezentující prostorové znaky, jako jsou hloubkové rozměry, vzdálenosti a orientace).

### 3.4.3 Mentální model

Mentální modely představují vedle sémantických sítí, schémat a dalších konceptů jeden z možných pohledů na vnitřní reprezentaci vnějšího světa<sup>237</sup>. Koncept mentálního modelu není v kognitivní psychologii přijímán všeobecně. Někteří význační představitelé kognitivní psychologie (např. Brewer, O'Malley, Draper) nepovažují pojem mentálního modelu za zcela správný<sup>238</sup>.

Mentální model se objevuje v kognitivní psychologii v 80. letech 20. století. Za publikace, které odstartovaly výzkum věnovaný mentálním modelům, lze považovat monografii Johnsona-Lairda<sup>239</sup> a sborník editovaný Gentnerovou a Stevenssem<sup>240</sup>.

---

<sup>235</sup> SHEPARD, Roger N.; METZLER, Jacqueline. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*. 1971, Vol. 171, no. 3972, s. 701-703. Dostupný také z WWW: <<http://www.cs.virginia.edu/cs150/ps/ps3/mental-rotation.pdf>>. ISSN 0036-8075.

<sup>236</sup> FARAH, Martha J. Is Visual Imagery Really Visual? : Overlooked Evidence From Neuropsychology. *Psychological Review*. 1988, Vol. 95, No. 3, s. 307-317. Dostupný také z WWW: <[http://www.linguistics.pomona.edu/lcs11fall04/readings/farah 1988.pdf](http://www.linguistics.pomona.edu/lcs11fall04/readings/farah%201988.pdf)>. ISSN 0033-295X.

<sup>237</sup> VOSNIADOU, Stella; BREWER, William F. Mental Models of the Earth : A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive psychology*. 1992, 24, s. 535-585. Dostupný také z WWW: <<http://calteach.ucsc.edu/aboutus/documents/vosniadoubrewer-mentalmodels.pdf>>.

<sup>238</sup> SEDLÁKOVÁ, Miluše. *Vybrané kapitoly z kognitivní psychologie : Mentální reprezentace a mentální modely*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2004. 252 s. ISBN 80-247-0375-0, str. 127

<sup>239</sup> JOHNSON-LAIRD, Philip N. *Mental models : Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. 6th. Cambridge : Harvard University Press, 1983. 513 s. Dostupné z WWW:

Johnson-Laird vymezuje mentální model jako „*struktury poznatků (znalosti, knowledge), jež lidé vytvářejí za účelem pochopení a vysvětlení svých zkušeností*“. Gentnerová a Stevens představují ve svém sborníku více pohledů na problematiku mentálního modelu, obecně se ale liší od pohledu Johnsona-Lairda. Výzkumy prezentované Gentnerovou a Stevensem se zaměřují na mentální modely, jejichž předlohou jsou reálně existující předměty (Johnson-Laird se zaměřuje na verbálně zprostředkované informace).<sup>241</sup>

Sedláková<sup>242</sup> vychází z různých pohledů na mentální model a definuje ho jako „...*teoretický konstrukt zastupující multidimenzionální strukturu zpracování informací zprostředkovanou mentální reprezentací objektu (události, situace), která generuje v procesu jeho přímého i zprostředkovaného poznávání inference logické i pragmatické povahy. Mentální model je smíšenou formou mentální reprezentace; forma je limitována povahou a způsobem poznávání objektů*“.

Sedláková dále upřesňuje, že strukturou se v tomto případě rozumí podstatné vztahy mezi jednotlivými obsahy, jež vznikly v procesu zpracování informací o objektu. Multidimenzionalita této struktury reflektuje fakt, že zpracování informací probíhá paralelně. Přímé poznání předmětu je závislé na vlastním pozorování a zkušenosti, avšak zprostředkované poznávání je funkcí výuky, výchovy a působení dalších informačních zdrojů.

Mentální modely vznikají a zároveň jsou omezeny existujícími konceptuálními strukturami jedince. V okamžiku vzniku těchto konceptů jsou mentální modely snadno ovlivnitelné. Mentální modely vzniklé na základě již existujících konceptů vykazují jistou rezistenci vůči změnám a reflektují existující konceptuální struktury<sup>243</sup>.

Některé mentální modely vedou k deduktivně platným závěrům s větší pravděpodobností než jiné. Například některé mentální modely nejsou efektivním nástrojem pro vyloučení

---

<<http://www.google.com/books?id=FS3zSKAflGMC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 0674568826.

<sup>240</sup> GENTNER, Dedre; STEVENS, Albert L. *Mental models*. Hillsdale : Erlbaum, 1983. 354 s. Dostupné z WWW: <<http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=55455342>>. ISBN 0898592429.

<sup>241</sup> SEDLÁKOVÁ, Miluše. *Vybrané kapitoly z kognitivní psychologie : Mentální reprezentace a mentální modely*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2004. 252 s. ISBN 80-247-0375-0, str. 128

<sup>242</sup> Ibidem, str. 134

<sup>243</sup> VOSNIADOU, Stella; BREWER, William F. *Mental Models of the Earth : A Study of Conceptual Change in Childhood*. *Cognitive psychology*. 1992, 24, s. 535-585. Dostupný také z WWW: <<http://calteach.ucsc.edu/aboutus/documents/vosniadoubrewer-mentalmodels.pdf>>.

neplatných závěrů<sup>244</sup>. Deduktivní usuzování je tím obtížnější, čím více mentálních modelů je potřeba použít k vyřešení problému. V těchto případech je totiž nutné v pracovní paměti udržovat všechny potřebné mentální modely, což vzhledem k její omezené kapacitě může způsobit přinejmenším některé chyby, které pozorujeme u lidského deduktivního usuzování<sup>245</sup>. Clementová a Falmengová dále přichází se zjištěním, že logické problémy (sylogismy) řeší lidé snadněji, pokud si lze zúčastněné členy snadno představit (což zřejmě usnadňuje jejich mentální reprezentaci) a pokud zkoumané tvrzení tvoří obsahově blízké vazby („Někteří umělci jsou malíři. Někteří malíři používají černou barvu.“ vs. „Některé texty jsou prózy. Některé prózy jsou dobře napsané.“).

Pomocí deduktivního usuzování lze dospět (alespoň teoreticky) k logicky spolehlivým (deduktivně platným) závěrům. Naproti tomu induktivní usuzování nevede ke zcela spolehlivým závěrům nikdy. Závěry induktivního uvažování lze při nejlepším považovat za velmi pravděpodobné. Induktivní usuzování je potřebné v případě, kdy neznáme dostatečně premise zkoumaného jevu.

Některé výzkumy<sup>246</sup> naznačují, že mentální modely budované při práci s prostorovým zobrazením se liší od mentálních modelů diváků, kteří zkoumali stejný objekt, či situaci v tradičních médiích. Mentální modely subjektů pracujících s prostorovým zobrazením vykazují větší komplexnost a přesnost. Lze vyslovit názor, že vytvoření správného mentálního modelu se jeví jako kritické pro správné operace s mentálními reprezentacemi objektů vnějšího nebo vnitřního prostředí.

#### 3.4.4 Kognitivní zátěž

V současné době jsou v kognitivní psychologii rozlišovány tři základní druhy paměti: senzorická, krátkodobá a dlouhodobá. Tyto tři typy paměti nelze chápat jako různé fyziologické paměťové sklady, ale slouží spíše k pochopení a vysvětlení psychologického jevu

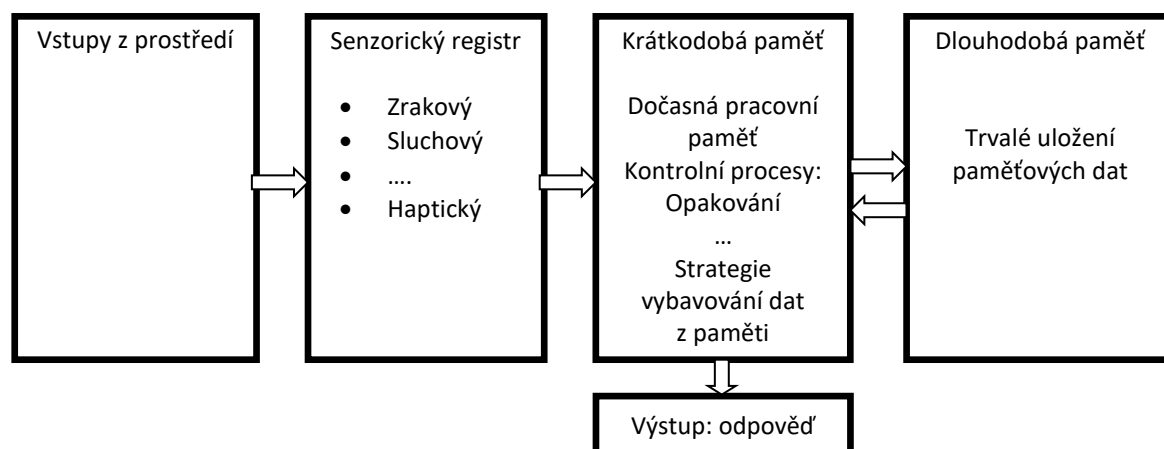
---

<sup>244</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5.

<sup>245</sup> JOHNSON-LAIRD, Philip N.; SCHAEKEN, Walter; BYRNE, Ruth M. J. Prepositional Reasoning by Model. *Psychological Review*. 1992, Vol. 99, No. 3, s. 418-439. Dostupný také z WWW: <<http://mentalmodels.princeton.edu/papers/1992propreason.pdf>>. ISSN 0033-295X.

<sup>246</sup> VORDERER, Peter; BRYANT, Jennings. *Playing video games : motives, responses, and consequences*. [s.l.] : Routledge, 2006. 480 s. Dostupné z WWW: <<http://books.google.cz/books?id=wIX9wjhpPOYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 0805853227. str. 236

paměti. Krátkodobá paměť uchovává informace po dobu řádově sekund až minut. Kromě vlastních informací se v ní nacházejí i kontrolní procesy regulující obousměrný tok mezi krátkodobou a dlouhodobou pamětí.<sup>247</sup>



**Obrázek 31 Model informačního toku podle Atkinsona a Shiffrina<sup>248</sup>**

Teorie kognitivní zátěže vychází z premisy, že jedinci pracují při učení s pracovní (krátkodobou, operační) pamětí. Tato krátkodobá paměť má omezenou kapacitu (podle Millera<sup>249</sup> je průměrná kapacita krátkodobé paměti omezena na sedm elementů, přičemž v jednotlivých případech může kapacita kolísat o dva elementy v obou směrech), naproti tomu velikost dlouhodobé paměti je prakticky neomezená<sup>250</sup>.

Copper<sup>251</sup> definuje kognitivní zátěž jako „celkové množství mentální aktivity, kterou musí vykazovat pracovní paměť za jednotku času. Hlavním faktorem ovlivňujícím velikost

<sup>247</sup> STERNBERG, Robert J. Kognitivní psychologie : Cognitive psychology. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5., str. 185 - 190

<sup>248</sup> Ibidem, str. 186

<sup>249</sup> MILLER, George A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*. 1994, 101, 2, s. 343-352. Dostupný také z WWW: <[http://www.psych.utoronto.ca/users/peterson/psy430s2001/Miller\\_GA\\_Magical\\_Seven\\_Psych\\_Review\\_1955.pdf](http://www.psych.utoronto.ca/users/peterson/psy430s2001/Miller_GA_Magical_Seven_Psych_Review_1955.pdf)>. ISSN 0033-295X.

<sup>250</sup> ARTINO, Anthony R. Cognitive Load Theory and the Role of Learner Experience : An Abbreviated Review for Educational Practitioners. *AACE Journal*. 2008, 16, 4, s. 425-439. Dostupný také z WWW: <[http://www.uh.cu/static/documents/TD/Cognitive\\_Load\\_Theory.pdf](http://www.uh.cu/static/documents/TD/Cognitive_Load_Theory.pdf)>. ISSN 1551-3696.

<sup>251</sup> COOPER, G. Research into cognitive load theory and instructional design at UNSW [online]. University of New South Wales, 1998. [cit. 25. 7. 2011]. Dostupné z: <<http://dwb4.unl.edu/Diss/Cooper/UNSW.htm>>.

kognitivní zátěže je počet elementů, na něž musí být současně upřena pozornost“. Sweller<sup>252</sup> rozlišuje tři složky, které tvoří celkovou míru kognitivní zátěže. Vlastní kognitivní zátěž (Germane cognitive load) je způsobena zpracováním informací, tvorbou a osvojením schémat. Vnitřní kognitivní zátěž (Intrinsic cognitive load) je dána samotným obsahem učiva. Některé věci je obecně obtížné se naučit. Vnější kognitivní zátěž (Extraneous cognitive load) je ovlivněna způsobem, jakým jsou informace předávány učícím se. Prostorové zobrazování má jako specifický didaktický prostředek potenciál především ke snížení vnější kognitivní zátěže, a tedy i snížení celkové kognitivní zátěže.

Velikost kognitivní zátěže je dána i dosavadními znalostmi učícího se. Experti v nějakém oboru jsou schopni oproti začátečníkům jednotlivé pojmy nahrazovat obecnějšími koncepty, a snížit tak počet zpracovávaných elementů v pracovní paměti. Úroveň vnější zátěže (podle Coopera) může být při edukaci ovlivněna metodou výkladu a formou studijních materiálů.

Kaufman<sup>253</sup> demonstrovuje roli pracovní paměti ve své studii věnované genderovým rozdílům v testech mentálních rotací a prostorové představivosti. Kaufman pracuje s pojmem prostorová pracovní paměť a dokazuje, že její vlastnosti jsou určující pro výkon v testech, ačkoliv tento vliv je více určující u žen než u mužů.

### **3.4.5 Implikace kognitivních aspektů prostorového zobrazování**

Na základě výše uvedených skutečností lze vyslovit domněnku, že existuje přímá spojitost mezi formou didaktických materiálů a jejich percepcí žáky, přičemž charakter vnitřní reprezentace vnímaného je ovlivněn individuálními vlastnostmi učícího se.

Dále lze usuzovat, že kritickou roli v tomto procesu hraje míra kognitivní zátěže, která je jednak ovlivněna individuálními vlastnostmi žáka, jednak jeho vytvořenými mentálními modely, které se podílejí na absorpci nových poznatků a mohou ovlivňovat míru kognitivní zátěže během učení.

---

<sup>252</sup> SWELLER, John; MERRIENBOER, Jeroen J. G.; PAAS, Fred G. W. C. Cognitive architecture and instructional design. Educational psychology review. 1998, vol. 10, no. 3, s. 251-296. Dostupný také z WWW: <[http://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller van Merrienboer and Pass 1998.pdf](http://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller%20van%20Merrienboer%20and%20Pass%201998.pdf)>. ISSN 1040-726X.

<sup>253</sup> KAUFMAN, Scott Barry. Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability : Can they be accounted for by differences in working memory capacity?. Intelligence. 2007, 35, 3, s. 211-223. Dostupný také z WWW: <<http://scottbarrykaufman.com/wp-content/uploads/2011/06/Kaufman-2007.pdf>>. ISSN 0160-2896.

Z výše uvedeného mimo jiné vyplývá, že pokud předkládaný didaktický obsah pracuje s prostorovými objekty a koncepty, je učení žáka významně ovlivněno jeho prostorovou inteligencí, především pak schopností mentálních rotací, a tedy zatížením jeho prostorové pracovní paměti. Toto zatížení je tím vyšší, čím nižší je prostorová inteligence jedince.

Je možno se domnívat, že snížení kognitivní zátěže může akcelarovat budování mentálních modelů a retenci získaných informací a prostorových souvislostí v dlouhodobé paměti, zlepšit jejich kvalitu a usnadnit akceptaci a pochopení dalšího didaktického obsahu.

### 3.5 Didaktická specifika prostorového zobrazování

Koncept didaktického specifika<sup>254</sup> je obecně dán komplexem osobitých vlastností a možností, resp. specifických technologických, realizačně organizačních, výukově funkčních a dalších didakticky relevantních parametrů daného materiálního didaktického prostředku, které jej odlišují od jiných prostředků z hlediska podpory dosahování výchovně vzdělávacích cílů.<sup>255, 256</sup> Didaktické specifikum je uvažováno především ve vztahu k technickým výukovým prostředkům, přičemž shora uvedená specifika lze formulovat jak k podsystémům, tak i jednotlivým prvkům systému materiálních didaktických prostředků.

Z hlediska specifík vázaných na zobrazení obecně lze akcentovat především možnost realizovat prezentaci obsahových, interpretačních či řídicích informací souvisejících se vzděláváním, resp. učivem nejvhodnějším způsobem vzhledem k danému cíli nebo daným podmínkám. Prostřednictvím zobrazení tak lze realizovat jak jakousi náhradní formu prezentace učebních dat v případech, kdy vlastní reálný objekt či skutečnost v daných podmínkách, prostoru nebo čase prezentovat nelze, tak i (častěji) formu prezentace, která je vzhledem k cíli formou optimální. Z tohoto hlediska mohou mít zobrazení různý odstup od reality ve spektru od vlastní věci, jevu či děje po slovní obraz, stejně jako různý poměr zastoupení obsahových a interpretačních informací v zobrazení<sup>257</sup>.

Při zkoumání didaktických specifík prostorového zobrazení je možno s ohledem na technická specifika prostorové projekce vycházet z didaktických specifík klasického promítaného

---

<sup>254</sup> PALOUŠ, Radim. *Didaktika technických výukových zařízení*. Praha : KPÚ, 1969.

<sup>255</sup> NIKL, Jiří. *Technické výukové prostředky*. Hradec Králové : KFy PF UHK, 2002. 61 s. ISBN 80-7083-635-0.

<sup>256</sup> TŮMA, Jan, et al. *Moderní technické prostředky ve výuce*. Praha : SPN, 1974. 459 s.

<sup>257</sup> RÁDL, Zdeněk. *Výskum a vývoj materiálnych didaktických prostriedkov pre základné a stredné školy : Zborník (4.diel)*. Vyd. 1. Bratislava : SPN, 1984. 104 s.



zobrazení a zároveň je proti němu vymezovat. Plošná promítaná zobrazení byla široce zkoumána v tradičních dílech věnovaných didaktické technice, přičemž tato díla obsahují i odkazy na možnost prostorového zobrazování, ale tuto oblast dále nerozebírají<sup>258</sup>.

Z pohledu didaktických specifík promítaného záznamu je prvořadá skutečnost, že promítané záznamy se jasově vyčleňují ze svého okolí (oproti nepromítaným záznamům). Toto vyčlenění upoutává pozornost žáků více než obrazy nepromítané. Ve srovnání s nepromítanými obrazy vykazují obrazy promítané bohatší barevnou stupnici odstínů, což však v případě prostorového zobrazování nemusí být s ohledem na použité technologie (např. anaglyf) vždy pravda. Další charakteristikou platnou pro projekci obecně je možnost zvětšení promítaného obrazu do optimální velikosti vzhledem k obsahu a charakteru záznamu, rozmístění diváků a promítacím podmínkám. (Přiměřené zvětšení obrazu přispívá ke zrakové pohodě žáků; nese s sebou však i jisté nebezpečí vytvoření zkreslených představ.) Působení promítaných obrazů lze dále umocnit dynamikou zobrazované skutečnosti a funkčním spojením vizuální složky se složkou zvukovou.<sup>259</sup>

Didaktické specifikum prostorového zobrazování tudíž charakterizují jak vlastnosti a parametry příslušející obecně zobrazení, resp. klasickému promítanému zobrazení, tak parametry vlastní celé skupině prostředků poskytujících prostorové zobrazení i parametry specifické pro konkrétní způsob či prostředek zobrazování.

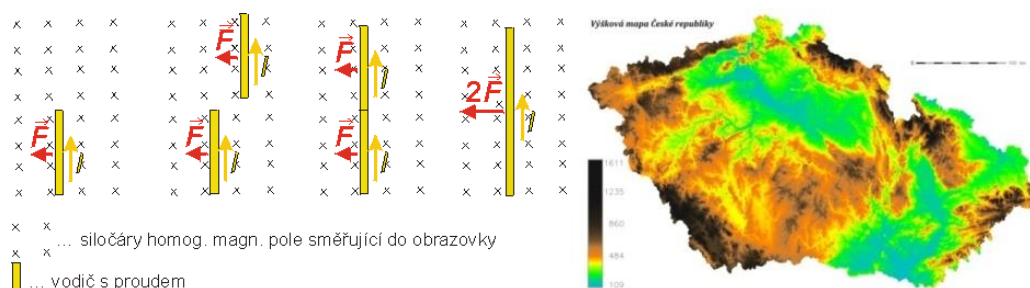
Didaktické specifikum vlastní oblasti prostorového zobrazování je založeno primárně na skutečnosti, že tento způsob prezentace učebních dat disponuje oproti všem standardním způsobům promítaného zobrazení další dimenzí a umožňuje tak přímo poskytnout informace, které musí být pro plošnou prezentaci jistým způsobem upraveny. Tato úprava může být provedena například pomocí geometrického zobrazení na plochu (izometrické zobrazení, perspektivní zobrazení, Mongeovo promítání apod.), nahrazením jedné prostorové souřadnice jinou proměnnou (např. barvou), pomocí zástupných symbolů vyjadřujících třetí rozměr a podobně (viz Obrázek 32).

---

<sup>258</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 63

<sup>259</sup> Ibidem, str. 55

Lze vyslovit předpoklad, že každá taková úprava zvyšuje kognitivní zátěž diváka, přičemž tato zátěž je velmi individuální, a to především v závislosti na úrovni prostorové inteligence diváka<sup>262</sup>. V některých případech lze pozorovat takové zatížení kognitivního procesu, že celková kognitivní kapacita již nepostačuje k pochopení samotného zobrazovaného obsahu<sup>263</sup>. Právě prostorové zobrazování zachovává prostorové souřadnice a netransformuje je na jiný typ proměnné ani je nenahrazuje symbolicky, a tudíž v důsledku snížení kognitivní zátěže diváka může urychlit pochopení zobrazované skutečnosti.



**Obrázek 32 Zástupná reprezentace třetího rozměru<sup>260,261</sup>**

Při využití prostorového zobrazování ve výuce je vhodné volit takový obsah, který svým charakterem využívá didaktických specifik prostorového zobrazování. Rádl ve spojitosti s fyzickými trojrozměrnými pomůckami uvádí: „*Pokud se tvůrce pomůcky rozhodl pro trojrozměrné zobrazení, je potřeba z toho vyvodit důsledky pro uplatnění pomůcky ve vyučování: využít právě tento třetí rozměr a pokud jde o funkční a pohyblivé zobrazení, je třeba využít i této jeho vlastnosti*“.<sup>264</sup>

Prostorové zobrazování vykazuje širší potenciál pro vizuální komunikaci v porovnání se zobrazením plošným, který spočívá především ve využití binokulární disparity a přímého znázornění hloubky zobrazovaného obsahu. Tato principiální výhoda může ve vhodných situacích vést k vyšší didaktické efektivitě.

<sup>260</sup> Převzato z WWW: <[http://elektross.gjn.cz/magn\\_pole/magn\\_indukce.html](http://elektross.gjn.cz/magn_pole/magn_indukce.html)>

<sup>261</sup> Převzato z WWW: <<http://www.giscom.cz/tvorba-map-3>>

<sup>262</sup> Viz kapitola 3.2.2 Percepční charakteristika prostorového zobrazení

<sup>263</sup> Toto téma je blíže diskutováno v kapitole 3.4 Kognitivní aspekty prostorového zobrazení

<sup>264</sup> RÁDL, Z. Výskum a vývoj materiálnych didaktických prostriedkov pre základné a stredné školy. Zborník, 4. diel. Bratislava. SPN. 1984.

Použití prostředků prostorového zobrazování ve výuce akcentuje především didaktickou zásadu názornosti. Zejména pak názornost vnější prostorovou, která vede k pochopení prostorového uspořádání reálného světa pomocí různých zobrazení tohoto světa a je umožněna vlastní podstatou prostorového zobrazování. Vzhledem k povaze prostorového zobrazování lze vyslovit názor, že prostorové zobrazování kromě názornosti prostorové může vést i k uplatnění názornosti symbolické a grafické. V některých případech může dokonce konkurovat názornosti přirozené.<sup>265</sup>

Prostorové zobrazování může, především v podobě imerzivního zobrazení, ovlivňovat nejen znalosti, ale i chování diváků. Tamborski a Skalski<sup>266</sup> upozorňují na řadu výzkumů, které dokazují změny v mentálních modelech chování v důsledku hraní videoher. Působení imerzivního prostředí videoher posiluje budování určitých mentálních modelů více než například sledování televize.

Imerzivní prostorové zobrazení je jedním z hlavních znaků virtuální reality<sup>267</sup>. Z pohledu didaktických specifik je možné do určité míry aplikovat didaktická specifika virtuální reality obecně na prostorové zobrazování. Javidi<sup>268</sup> uvádí, že „unikátní možnosti virtuální reality umožňují studentům pozorovat důsledky změn fyzikálních zákonů, sledovat události na úrovni atomů, vizualizovat abstraktní koncepty, navštěvovat místa a pracovat s objekty, které jsou z důvodů vzdálenosti, bezpečnosti a času jinak nedostupné“. Ve své práci dále uvádí, že virtuální realita podporuje široké spektrum experimentálních a konceptuálních učebních metod.

Didaktický přínos prostorového zobrazování nespočívá pouze v prezentaci reálných objektů, ale i v symbolickém a konceptuálním zobrazení. Říha<sup>269</sup> ve své práci věnované myšlenkovým

---

<sup>265</sup> PECKA, Karel; MATĚJČEK, Jiří. *Využití stereoskopie ve vyučování*. 1. vydání. Praha : SPN, 1982. 50 s. 17-563-82., str. 28

<sup>266</sup> TAMBORINI, Ron; SKALSKI, Paul. *Playing video games : motives, responses, and consequences*. [s.l.] : Routledge, 2006. The Role of Presence in the Experience of Electronic Games, s. 225-240. Dostupné z WWW: <<http://ocw.metu.edu.tr/file.php/85/ceit706/week6/Tamborini&Skalski.PDF>>. ISBN 0805853227.

<sup>267</sup> JONES, Steve Virtual Reality Technology and the Future of Education, Dostupný z WWW: <<http://stevejones.me/pubs/2006/VRTechAndFutureEd.pdf>>.

<sup>268</sup> JAVIDI, Giti. *EME7938* [online]. 1999 [cit. 2011-08-08]. Virtual Reality and Education. Dostupné z WWW: <<http://www.coedu.usf.edu/itphdsem/eme7938/gj899.pdf>>.

<sup>269</sup> ŘÍHA, Daniel. Komunikace myšlenkových map v 3-D sdíleném prostředí. In *Alternativní metody výuky*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2007. s. 7. Dostupné z WWW: <<http://everest.natur.cuni.cz/konference/2007/prispevek/riha.pdf>>. ISBN 978-80-7041-129-2.

mapám upozorňuje na významný přínos 3D prostředí pro jejich tvorbu a komunikaci. Judelman<sup>270</sup> referuje o celé řadě konkrétních aplikací, ve kterých prostorové zobrazení přináší významné zjednodušení orientace v modelu, usnadňuje práci s danou strukturou a vede ke snížení kognitivního zatížení.

V této práci byly definovány tři osy percepčních charakteristik<sup>271</sup>, které určují jednotlivé percepční kategorie. Didaktická specifika jsou v daných kategoriích společná všem technologiím, které jsou v ní zastoupeny, s přihlédnutím ke specifikům každé z nich.

### 3.5.1 Monoskopické a polyskopické zobrazení

Počet diváků, kteří mohou současně sledovat zobrazení, je důležitým didaktickým specifikem konkrétních technologických řešení a je určující pro formu aplikace dané technologie ve výuce.

Monoskopické systémy prostorového zobrazování umožňují především vysokou míru individualizace a personalizace. Personalizací je zde možno rozumět přizpůsobení zařízení a zobrazení fyziologickým charakteristikám jedince (vzdálenost očí, kompenzace očních vad apod.), subjektivním percepčním potřebám (nastavení jasu, vzdálenost zobrazení, umístění zobrazovacího zařízení) apod. Z hlediska individualizace je třeba akcentovat také možnost individuální volby pohledového bodu, přiblížení se modelu a dalších parametrů zobrazení, jako jsou komplexnost zobrazovaného modelu apod.

Monoskopické systémy jsou vhodné především pro individualizované vyučovací formy s obsahovou a časovou diferenciací vyučování, přestože je obvykle technicky možné je použít i pro frontální výuku.

Polyskopické technologie prostorového zobrazování umožňují sledovat zobrazený model současně více divákům a to je předurčuje především pro využití při frontální výuce nebo výuce ve skupinách. Polyskopické technologie prostorového zobrazování umožňují uplatnit jednotný postup při vyučování s doprovodným výkladem učitele a možnost vzájemné interakce a komunikace, jak mezi učitelem a žáky, tak mezi žáky navzájem.

---

<sup>270</sup> JUDELMAN, Gregory Brian. *Knowledge Visualization : Problems and Principles for Mapping the Knowledge Space* [online]. [s.l.], 2004. 175 s. Dizertační práce. University of Lübeck. Dostupné z WWW: <<http://www.gregjudelman.com/media/judelmanThesis2004.pdf>>.

<sup>271</sup> Viz kapitola 3.2.2 Percepční charakteristika prostorového zobrazení

### 3.5.2 Aktivní a pasivní pohybová paralaxa

Pohybová paralaxa může vznikat v důsledku pohybu pozorovatele (aktivní paralaxa) nebo v důsledku pohybu pozorovaných objektů (pasivní paralaxa).<sup>272</sup>

Hlavním didaktickým specifikem systémů s aktivní paralaxou je možnost explorační modelů aktivním pohybem diváka. Takto zobrazený model je vnímán divákem obdobným způsobem jako reálný předmět a svým působením na diváka se blíží reálnému prožitku. Vizuální počitek je v menším konfliktu s ostatními polohovými čidly (změna polohy vnímaná středním uchem apod.)

Tato percepční kategorie nabývá didaktického významu především v případě vícediváckých technologií prostorového zobrazování. U zobrazení pouze s pasivní paralaxou (většinou paralaktické technologie) sledují všichni diváci zobrazení z jednotného pohledového místa. Viděný obraz je stejný pro všechny diváky a často dochází k jeho deformaci nebo zhoršení kvality percepce v důsledku polohy diváků mimo optimální prostor pro sledování zobrazení.

U zařízení s aktivní paralaxou je pohledové místo určeno fyzickou polohou diváka vůči zobrazení. Díky tomu každý divák vnímá v přiměřené míře unikátní obraz, který by odpovídal obrazu viděnému při sledování zobrazovaného modelu v realitě z dané relativní polohy diváka vůči modelu.

### 3.5.3 Forma prostorového zobrazení

Didaktická specifika určená formou zobrazení lze přisuzovat míře obsazení percepčního pole diváka zobrazením. Konkávní zobrazení u diváka vyvolává částečné či úplné vizuálně percepční oddělení od reality a obklopení světem virtuálním. Plošné a konvexní prostorové zobrazení je definováno jako takové, které divák sleduje ve formě „okna“ (např. autostereoskopický monitor<sup>273</sup>) nebo „křišťálové koule“ (např. Perspecta 3D display<sup>274</sup>) a není zobrazením obklopen, nestává se jeho součástí.

Pro konvexní zobrazení je z pohledu didaktických specifík určující právě fakt, že divák stále vnímá primárně realitu, neztrácí kontinuitu s ní a prostorového zobrazení je pouze součástí

---

<sup>272</sup> Viz kapitola 3.2.2 Percepční charakteristika prostorového zobrazení

<sup>273</sup> Viz kapitola 3.3.3 Paralaktické zobrazení – Autostereoskopické monitory

<sup>274</sup> Viz kapitola 3.3.4 Přímé zobrazení v prostoru – Perspecta Spatial 3D Display

jeho percepčního pole. Didaktickým specifikem konkávního zobrazení je skutečnost, že divák se stává součástí pozorovaného virtuálního světa, svět diváka obklopuje.

Při sledování konkávního prostorové zobrazení je oproti konvexnímu zobrazení více využívána percepční zkušenost diváka (vlastní subjektivně vnímaná velikost apod.). Konkávní zobrazení svým komplexním pokrytím vizuálně percepčního pole diváka může působením na emoce diváka přispět ke zvýšení jeho motivace a rozšiřuje informační funkci prostorového zobrazování. Síla prožitku může vést k trvalejšímu a rychlejšímu osvojení učiva.

Konkávní zobrazení je vhodné pro zkoumání modelu „zevnitř“, přičemž divák nemá obvykle k dispozici komplexní přehled o celém modelu. Naproti tomu konvexní zobrazení nabízí pohled „zvenku“ a podává pohled na celý model (resp. na část viditelnou z daného pozorovacího místa).

### 3.5.4 Didaktické aspekty technologií prostorového zobrazování

Při aplikaci prostorového zobrazování ve výuce je potřeba sledovat již ve fázi volby vhodného technického řešení mnoho parametrů, které jsou částečně determinovány percepční charakteristikou zvolené technologie a částečně jejími specifickými vlastnostmi. Technologie spadající do stejné percepční kategorie lze vzájemně substituovat, a to především s přihlédnutím na technickou, organizační a finanční náročnost daného řešení.

Kromě percepční charakteristiky se lze při výběru technologie vhodné pro konkrétní aplikaci v procesu učení orientovat i podle technologického principu, na kterém je technologie založena, neboť i tato vlastnost se odráží v didaktických specifikách daných technologií. Z tohoto úhlu pohledu lze konstatovat, že pro určitou didaktickou situaci existuje vždy více než jedno technologické řešení, kterým lze dosáhnout očekávaného didaktického efektu.

V neposlední řadě je nutné zohlednit organizační formu vyučování a technické podmínky, při níž je některá z technologií prostorového zobrazování využívána. Při stanovení podmínek nutných pro aplikaci prostorového zobrazování je možno do určité míry vycházet, podobně jako u didaktických specifik, z technických podmínek aplikace klasické (plošné) projekce.<sup>275</sup> S ohledem na specifičnost prostorového zobrazování se jedná především o umístění

---

<sup>275</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 79

zobrazovacího zařízení, zajištění vhodných světelných podmínek a zajištění funkčnosti a distribuce pomůcek pro sledování zobrazení<sup>276</sup>.

Některé z technologií prostorového zobrazování nelze ve vyučování využít bez přípravy (ad hoc) a je nutné je organizovat jako samostatnou akci. V určitých případech (např. CAVE) je pro práci se zobrazovacím zařízením nutné přemístění do specializované laboratoře, distribuce pomůcek pro sledování zobrazení, umístění polohových čidel, adjustace zařízení apod.

### *Paralaktické zobrazení*

Jelikož je v současné době (2011) nejdostupnějším způsobem prostorového zobrazování některá z paralaktických technologií, je této skupině prostředků věnována největší pozornost. Zkoumání ostatních prostředků prostorového zobrazování se doposud nestalo předmětem širokého odborného zájmu a pohybuje se spíše v teoretické rovině.

Paralaktické technologie se vyznačují především skutečností, že zobrazení je vždy produkováno pouze pro jedno pohledové místo. Pokud se divák nenachází ve vhodné pozici vůči zobrazení, dochází k deformaci vnímaného prostorového zobrazení, případně k úplné ztrátě vjemu hloubky. Tato skutečnost má vliv především na organizační stránku výuky.

### *Anaglyf*

Zobrazování metodou anaglyfu má nezanedbatelný potenciál praktického využití s ohledem na úroveň vybavení škol ICT prostředky<sup>277</sup>. Tato technologie představuje nejdostupnější způsob prostorového zobrazování. Anaglyfy je možné zobrazovat na běžných displejích, DVP a tisknout, přičemž anaglyfické brýle jsou cenově dostupné.

Využití zobrazování pomocí anaglyfu je ovlivněno především nutností použití brýlí s barevnými filtry, které ovlivňují percepci diváka i pokud nesleduje anaglyfické zobrazení. Přestože je možné s nasazenými brýlemi pracovat např. s učebnicí či sešitem, dochází ke snížení percepčního komfortu vlivem deformace barevného spektra. Sledování

---

<sup>276</sup> Např. brýle pro sledování aktivní stereoprojekce

<sup>277</sup> ZÁKOSTELNÁ, Barbora; ŠULCOVÁ, Renata. Srovnávací průzkum využití ICT v přírodovědném vzdělávání na ZŠ a SŠ. In Alternativní metody výuky 2011. Hradec Králové : Gaudeamus, 2011. s. 6. Dostupné z WWW: <[http://everest.natur.cuni.cz/konference/2011/prispevek/zakostelna\\_prispevek.pdf](http://everest.natur.cuni.cz/konference/2011/prispevek/zakostelna_prispevek.pdf)>. ISBN 978-80-7435-104-4.

anaglyfického zobrazení může ve větší míře než jiné metody prostorového zobrazování způsobovat zvýšenou únavu, bolest očí a hlavy apod.<sup>278</sup>

Vzhledem k omezenému barevnému podání je anaglyfické zobrazení vhodné spíše pro zobrazování schematických modelů než reálných objektů a prostředí, pro které lze využít jiné paralaktické technologie s plnou barevností.<sup>279</sup>

Z hlediska obsahového je anaglyfické zobrazení vhodné například pro výuku stereometrie. Zobrazení geometrických těles při anaglyfickém zobrazení je vhodné provést formou drátěných modelů (hrany v obraze oproti celistvým plochám zlepšují vnímání hloubky). Anaglyfické zobrazení lze využít při frontální výuce ve formě dynamické či statické velkoplošné projekce (např. pomocí běžných DVP, interaktivní tabule). V tomto případě je vhodné použít projekční zařízení s dostatečným jasnem a upravit barevné podání (jas, kontrast atd.) tak, aby barevnost projekce vyhovovala použitým anaglyfickým filtračním brýlím. Didaktická specifika tohoto využití anaglyfu odpovídají percepční kategorii plošného polyskopického zobrazení s pasivní paralaxou.

Pro individualizované formy výuky je možné využít zobrazení anaglyfu na běžných monitorech. Stejně jako u projekce pomocí DVP je vhodné upravit barevné a jasové parametry zobrazovacího zařízení. Přestože se v tomto případě jedná o plošné monoskopické zobrazení s pasivní paralaxou, je možné takto pracovat i v malých skupinách (2 až 3 osoby). Zobrazení pomocí monitoru lze za cenu ztráty dynamičnosti nahradit barevným tiskem, který je možno pohodlně sledovat pomocí anaglyfických brýlí. Při tisku je vhodné použít kvalitní tiskový materiál s dostatečným jasnem.

Anaglyfickou projekci lze realizovat formou statických obrazů (pro zobrazení jsou vhodnější obrazové formáty s bezztrátovou kompresí, např. PNG - Portable Network Graphics, neboť nehrozí vznik nechtěných komprimačních artefaktů), nebo formou dynamického zobrazení - videosekvencí (většina současných video formátů pracuje se ztrátovou kompresí, která vede

---

<sup>278</sup> HÄKKINEN, Jukka, et al. Simulator Sickness in Virtual Display Gaming : A Comparison of Stereoscopic and Non-stereoscopic Situations. In *MobileHCI 06 : Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. New York : ACM, 2006. s. 227-229. Dostupné z WWW: <<http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/jukka.hakkinen/ref-26/p227-hakkinen.pdf>>. ISBN 1-59593-390-5.

<sup>279</sup> Např. aktivní stereoprojekci



ke vzniku artefaktů v obraze, a je proto vhodné použít kompresi, která minimalizuje zkreslení hran). Větší variabilitu didaktického využití nabízejí specializované programy, které mohou přinášet do prostorového zobrazování prvek interaktivity, individualizace a personalizace.

### Autostereoskopické displeje a tisky

Autostereoskopické displeje odstraňují nutnost použití brýlí při sledování prostorového zobrazení. Některé autostereoskopické displeje umožňují i plnohodnotné plošné zobrazení.

Práci s autostereoskopickými displeji výrazně ovlivňuje nutnost sledovat obraz pouze z určitého definovaného prostoru. Pokud je divák mimo tuto oblast, dochází k úplné ztrátě prostorového vjemu a strnulá pozice při sledování obrazu snižuje divácký komfort. Výhodou této technologie je absence filtračních brýlí.

Autostereoskopické displeje patří do percepční kategorie plošných monoskopických zobrazení s pasivní paralaxou. U většiny z nich lze prostorový obraz sledovat z více než jednoho pozorovacího místa a je možné takto pracovat i v malých skupinách (2 až 3 osoby).

Autostereoskopické displeje jsou vhodné pro dlouhodobou práci s prostorovým zobrazením a častým přenášením pozornosti mezi prostorovým zobrazením a okolním prostředím. Typické využití autostereoskopických monitorů je práce s CAD<sup>280</sup> a GIS<sup>281</sup> systémy.

Autostereoskopický tisk může v určitých didaktických situacích nahradit dynamické prostorové zobrazení. Jeho hlavní výhodou je relativně nízká cena a snadná výroba. Materiály pro autostereoskopický tisk lze vytvářet svépomocí v 3D editorech (např. Cinema 4D, Autodesk 3D Studio Max apod.) nebo pomocí fotoaparátu a tisknout na běžný papír. Na jeden tisk je možné umístit až 12 snímků (pohledů) a dosáhnout tak plynulého přechodu jednotlivých snímků při sledování tisku.<sup>282</sup>

### Aktivní stereoprojekce

Aktivní stereoprojekce je velmi rozšířenou metodou prostorového zobrazování a představuje dostupnou variantu prostorového zobrazování ve školním prostředí. Podle technického

---

<sup>280</sup> Computer Aided Design

<sup>281</sup> Geographic Information System

<sup>282</sup> BRUKNER, Jan. Cinema 4D Tutorial: Jak na 3D lentikulární obrazy. *Grafika.cz* [online]. 2007, [cit. 2011-08-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.grafika.cz/art/3d/C4D-lenticular-picts-tut.html>>. ISSN 1212-9569.

řešení lze aktivní stereoprojekci realizovat jako jedno i vícedivácký systém, využití obou systémů zároveň může být problematické s ohledem na nutnost synchronizace brýlí se zobrazením.

Oproti anaglyfu, jsou pro aktivní stereoprojekci využívány brýle, které neovlivňují vnímané barevné spektrum. S nasazenými a funkčními brýlemi je možné běžně pracovat s ostatními učebními pomůckami. Brýle do určité míry snižují vnímaný jas a může docházet k interferenci s osvětlovacími prvky (především zářivky) v místnostech, jako důsledek blikání LCD v očnicích.

Pro zobrazení se obvykle používají LCD s vysokou obnovovací frekvencí, které je možné využít plnohodnotně i pro běžné plošné zobrazování. V tomto případě se jedná o plošné monoskopické zobrazení s pasivní paralaxou<sup>283</sup> a je vhodná především pro individualizované formy výuky. Tato technologie je vhodná pro prostorové zobrazování, kde je potřebné zachovat barevnost zobrazovaného modelu. Příkladem může být reprodukce prostorových záznamů reality (modelů zachycených stereofotoaparáty a stereokamerami). Barevné zobrazení může přispět k lepší orientaci diváka v zobrazení a lepšímu porozumění předkládanému modelu.

Aktivní stereoprojekci je možné realizovat i pomocí DVP nebo televizorů s velkou úhlopříčkou<sup>284</sup>, jako plošné polyskopické zobrazení s pasivní paralaxou, především pro frontální výuku. Jelikož je nutné synchronizovat brýle všech diváků se zobrazením, je nutné umístit zdroj synchronizačního signálu tak, aby nebyl zastíněn ostatními diváky a vybavením<sup>285</sup>. Brýle obvykle mají vlastní zdroj energie pro zatmívací ocnice, který je nutno udržovat nabitý.

Aktivní stereoprojekce je obvykle dobře snášena a nepředstavuje výrazný únavový faktor. Oproti anaglyfu jsou méně časté i případy bolestí hlavy a dalších potíží.

---

<sup>283</sup> Rozšířením této technologie o sledování pozice diváka (head tracking) např. pomocí kamery je možné vytvářet i systémy s aktivní paralaxou.

<sup>284</sup> Obvykle označované jako 3D nebo 3D Ready zařízení.

<sup>285</sup> Pro synchronizaci se obvykle používá infračervené světlo nebo radiové signály

## Širokoúhlá aktivní stereoprojekce

Širokoúhlá aktivní stereoprojekce je rozšířeným použitím běžné aktivní stereoprojekce a aspekty jejího nasazení z ní vychází. Díky konkávní povaze zobrazení jsou typickou aplikační oblastí nejrůznější simulátory<sup>286</sup>, a to především s konstantní pozicí diváka.

Širokoúhlá aktivní stereoprojekce je dostupným způsobem realizace konkávního zobrazení, často bez nutnosti investice do specializovaných zobrazovacích zařízení.

## HMD

Zařízení HMD mají velký potenciál pro didaktické využití, jak naznačují existující publikované zprávy o jejich experimentálním nasazení<sup>287</sup>. Na rozdíl od CAVE zařízení jsou HMD mobilní, bez velkých prostorových nároků, jejich cena je řádově nižší a nižší je i výpočetní výkon nutný k jejich provozu. V současnosti se jedná o jediná finančně dostupná zařízení pro konkávní monoskopické prostorové zobrazování s aktivní nebo pasivní paralaxou. Nevýhodou HMD je jejich hmotnost ve srovnání se zatmívacími brýlemi nutnými pro práci v CAVE.

HMD mohou být podle typu použity pro plnou nebo smíšenou virtuální realitu, a to především tam, kde je vnoření do virtuálního světa, resp. obohacení reálného světa o virtuální zobrazení, didakticky funkční (např. komplexní virtuální prostředí s bohatými vnitřními vazbami).

Vizuální oddělení ireálného světa silně působí na emoce diváka. Vhodnými příklady využití jsou tedy nejrůznější sociální a behaviorální simulace.

## CAVE

CAVE představuje zřejmě nejdokonalejší druh prostorového zobrazování, který není pouze ve stádiu laboratorního zařízení. Oproti HMD poskytuje přirozenější vjem prostoru a umožňuje kvalitnější zobrazení s vyšším rozlišením. Překážkou jeho většího rozšíření ve vzdělávání jsou především značné prostorové a finanční nároky na jeho provoz.

---

<sup>286</sup> Např. řízení dopravních prostředků

<sup>287</sup> Např. KAUFMANN, Hannes. *Geometry Education with Augmented Reality* [online]. Vídeň, 2004. 169 s. Dizertační práce. Vienna University of Technology. Dostupné z WWW: <[http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/kaufmann\\_diss.pdf](http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/kaufmann_diss.pdf)>.

Protože zařízení CAVE spadá do stejné percepční kategorie jako HMD, je i jeho výukové využití velmi podobné. CAVE patří spolu s HMD do percepční kategorie konkávních monoskopických zobrazení s aktivní paralaxou.

### *Hologramy*

Přestože je v současné době cena kvalitních hologramů relativně vysoká<sup>288</sup>, má především digitální holografický tisk velký didaktický potenciál. Z didaktického hlediska je možné pro výukové využití hologramů vycházet z didaktických specifik zařízení pro nepromítaný, případně promítaný záznam. Jelikož zařízení pro aktualizovatelné holografické zobrazování existují pouze v podobě experimentálních laboratorních zařízení, lze hologramy obecně řadit mezi hotová zobrazení.

Hotové záznamy jsou vhodné především k prezentaci obsáhlých a složitých záznamů, při jejichž tvorbě nemusí být žák účasten, nebo záznamů kladoucích nároky na přesnost, preciznost, estetické ztvárnění apod.<sup>289</sup>

Pro sledování hologramů je velmi důležité správné osvětlení (pro použití ve školách jsou vhodné především plně barevné hologramy osvětlované bílým světlem). Barevné a jasové vyčlenění hologramu vůči okolí dále zvyšuje motivaci a přispívá k udržení pozornosti diváků.

Hologramy jsou obvykle vytvářeny jako plošná monoskopická zobrazení s aktivní paralaxou. Při větších rozměrech lze hovořit i o plošných polyskopických zobrazeních s aktivní paralaxou.

### *Přímé zobrazení v prostoru a light field systémy*

Přestože nejsou v současné době (2011) na trhu zařízení na principu přímého zobrazení v prostoru ani na principu reprodukce světelného pole (light field), která by se mohla stát běžným vybavením škol, mají především tato zařízení potenciál stát se důležitým technickým výukovým prostředkem.

---

<sup>288</sup> Např. firma Zebra Imaging nabízí monochromatický digitální hologram o rozměrech 12x12 palců za cenu okolo 500 USD (platné pro rok 2011).

<sup>289</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 48

Zařízení s přímým zobrazením v prostoru byla již využita v didakticky orientovaných experimentech.<sup>290</sup> Společným didaktickým specifikem zařízení s přímým zobrazením v prostoru<sup>291</sup> je viditelnost celého zobrazovaného modelu (tedy i odvrácených stran modelu).

### 3.5.5 Didaktické aspekty zobrazovaného modelu

Přestože lze konstatovat, že všechny prostředky prostorového zobrazování jsou do jisté míry zaměnitelné, je adekvátnost jejich aplikace v didaktických situacích determinována kromě jejich didaktických specifíků i zobrazovaným obsahem (resp. zobrazovaným modelem) a parametry tohoto zobrazení.

Vlastnosti zobrazení modelu jsou dány kromě didaktického účelu i zobrazovacími možnostmi zvoleného prostředku prostorového zobrazování, resp. možnosti použité technologie jsou limitující pro aplikaci určitého modelu ve výuce a možných parametrů tohoto zobrazení.

Parametry zobrazení modelu předkládané v této práci se jeví být adekvátní z didaktického hlediska a dále vymezují didaktická specifika jednotlivých zařízení. V této práci je vycházeno z předpokladu, že předlohou pro prezentaci je idealizovaný model reality, který je možno transformovat na libovolnou kvalitu a formu reprezentace. Prakticky jsou modely vytvářeny s konkrétním (didaktickým) záměrem a pro prezentaci na určitém typu zařízení, tedy s odpovídající formou, komplexitou, mírou abstrakce apod.

#### *Komplexita*

Komplexita modelu se vztahuje ke grafickému provedení předlohy, resp. složitosti zobrazovaného modelu z hlediska uplatnění jednoduchých grafických prvků typu čára, komplexnějších typu plocha, nebo typu textura. Nevypovídá o didaktické hodnotě zobrazovaného modelu, ale o schopnosti určitého prostředku realizovat projekci modelů obsahujících dané grafické prvky.

V souladu s běžně užívanou terminologií počítačové grafiky jsou vymezeny tři úrovně komplexity zobrazení modelu: čárová grafika, grafika a fotografika.

---

<sup>290</sup> GROSSMAN, Tovi; BALAKRISHNAN, Ravin. Collaborative Interaction with Volumetric Displays. In *CHI 2008 Proceedings*. Florence : [s.n.], 2008. s. 383-392. Dostupné z WWW: <[http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008\\_collaborativevolumetric.pdf](http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008_collaborativevolumetric.pdf)>. ISBN 978-1-60558-011-1.

<sup>291</sup> Doposud nebylo představeno zařízení spadající do kategorie přímého zobrazení v prostoru, které by emitovalo světlo pouze v určitém směru. Všechna existující zařízení emitují světlo všesměrově (omnidirectional).

## Abstrakce

Abstrakce modelu představuje míru přiblížení zobrazení realitě. Rádl<sup>292</sup>dělí pomůcky podle úrovně odstupu od reality na demonstrace jevu nebo věci, modelů, schémat a diagramů a slovní obrazy. Rambousek<sup>293</sup>upřesňuje toto dělení na:

- věci, jevy a děje
- věrný model nebo zobrazení
- schematizovaný model a zobrazení
- digram, graf, symbol
- slovní obraz

Prostorovým zobrazováním lze tedy dosáhnout třech úrovní abstrakce (s vyloučením demonstrace reálných věcí dějů a jevů a slovních obrazů), v této práci označované jako: Symbolické, Schematické, Realistické.

## Dynamičnost

Dynamičnost modelu umožňuje reprezentovat jevy a děje v pohybu a vývoji, postihovat příčinné souvislosti, změny v čase a další časově závislé události<sup>294</sup>. Na základě druhu změn modelu lze identifikovat tři základní dynamické kategorie:

- **statický** – Model je neměnný, nebo jeho změna nemá didaktický význam.
- **animace** – Model je proměnlivý ve fázích, které na sebe přímo nenasledují, a rychlost změny modelu není v přiměřené míře didakticky významná.
- **dynamický** – Model je proměnlivý a změny modelu mají souvislou formu.

Stejně jako u filmové projekce je i u prostorového zobrazování dosahováno dynamického zobrazení pomocí iluze zdánlivého pohybu v důsledku rychlého střídání statických zobrazení (v některých případech je takto dosahováno dokonce samotného prostorového zobrazení).

---

<sup>292</sup> RÁDL, Z. Výskum a vývoj materiálnych didaktických prostriedkov pre základné a stredné školy. Zborník, 4. diel. Bratislava. SPN. 1984.

<sup>293</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 33

<sup>294</sup> RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s., str. 123

Možnost zobrazení dynamického modelu přímo souvisí se schopností určité technologie produkovat dynamické zobrazení, případně schopnost zobrazit jednotlivé fáze modelu.

Lze vyslovit názor, že nutnost dynamického zobrazení je u plošné projekce v některých případech dána potřebou zprostředkované explorační prostorového uspořádání modelu pomocí pohybové paralaxy (např. otáčením předlohy). Díky přímému zobrazení prostorového uspořádání modelu prostředky prostorového zobrazování je možné v tomto případě nahradit dynamické zobrazení zobrazením statickým.

### *Barevnost*

Úloha barvy je při prezentaci modelu jistě významná. Barvou lze v modelu jednoduchým způsobem vyčlenit určité jeho části, zdůraznit detaily, dát do souvislosti různé části modelu, vyjádřit vlastnosti modelu v daném místě (např. teplotu) apod. Barvou může být v modelu reprezentován další rozměr či veličina. Díky tomu se výrazně zvyšuje informační hodnota modelu a jeho zobrazení. Modely lze hodnotit z pohledu aplikace barev jako:

- **jednobarevné** – Barva není v modelu použita, resp. model může být reprezentován jednou barvou (např. s různou intenzitou).
- **s omezenou barevností** – Model obsahuje omezené množství barev.
- **plná barevnost** – Model obsahuje fotorealistické spektrum barev.

Plnohodnotné zobrazení modelu z pohledu reprodukce barev je ovlivněno vlastnostmi konkrétního použitého prostředku prostorového zobrazování. Přestože některé tyto prostředky produkují barevný obraz (tedy obraz obsahující různé vlnové délky světla), nelze o nich hovořit, jako o prostředcích vhodných pro plně barevné prostorové zobrazování (viz např. některé typy duhových hologramů). Některé prostředky prostorového zobrazování jsou schopny dokonce produkovat zobrazení složené z voxelů stejné barvy a stejného jasu (PDVD).

## Imerze

Pojem imerze je spojen především s virtuální realitou. Imerzí se obvykle rozumí míra pohlcení diváka virtuální realitou<sup>295</sup>. Čím více smyslů je stimulováno virtuálním prostředím a čím je tato stimulace kvalitnější (věrnější napodobení reálných podnětů), tím vyšší je míra imerze (především zrak, sluch a hmat). Z pohledu prostředků prostorového zobrazování jde především o míru stimulace zraku, v tomto kontextu imerze do obrazového média. Za imerzivní je v této práci považován takový model, který se snaží u diváka (diváků) navodit dojem, že se nachází uvnitř zobrazení. Pro imerzivní zobrazení je určujícím parametrem vyvolání pocitu přítomnosti (presence, subjective presence, telepresence a další<sup>296</sup>) v zobrazení. Tento pocit přítomnosti je možné dále dělit na dílčí prožitky: prostorovou, sociální a osobní přítomnost<sup>297</sup>. Za neimerzivní je považován takový model, který u diváka tento pocit nevyvolává a o tento pocit vnoření neusiluje.

Při prostorovém zobrazování nemusí být vizuální percepce diváka zcela zastíněna prostorovým zobrazením (virtual reality), ale může být pouze smíšena s reálnými podněty. Dle míry a způsobu obohacení vnímaného reálného prostředí digitálními informacemi existuje široká oblast smíšené reality (někdy též augmented reality)<sup>298</sup>. Míra obohacení percepce digitálními informacemi může být v případě smíšené reality velmi variabilní. Od úrovně, kdy tyto digitální informace vnímající nemusí téměř zaznamenat, až po pojetí hraničící s virtuálním prostředím, kde se vlastní reálné prostředí prakticky vytrácí.

Pro prezentaci imerzivních modelů jsou vhodné především prostředky prostorového zobrazování s konkávní formou<sup>299</sup>, ve kterých zobrazení obklopuje diváka. Imerzivní zobrazení je tedy zvláště didakticky výhodné, je-li záměrem vyvolat pocit začlenění

---

<sup>295</sup> ROUSSOU, Maria. Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. *Foundation of the Hellenic World* [online]. 2007, 5, [cit. 2011-06-23]. Dostupný z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>>.)

<sup>296</sup> TAMBORINI, Ron; SKALSKI, Paul. *Playing video games : motives, responses, and consequences*. [s.l.] : Routledge, 2006. The Role of Presence in the Experience of Electronic Games, s. 225-240. Dostupné z WWW: <<http://ocw.metu.edu.tr/file.php/85/ceit706/week6/Tamborini&Skalski.PDF>>. ISBN 0805853227.

<sup>297</sup> Spatial presence, social presence, self-presence

<sup>298</sup> MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. A taxonomy of mixed reality Visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. December 1994, Vol E77-D, No.12, s. 15. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.102.4646&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 09168532.

<sup>299</sup> Viz kapitola 3.2.2 Percepční charakteristika prostorového zobrazení



do virtuálního světa a toto začlenění je výukově funkční. Výhodné je využít imerzivního zobrazení pro vytváření simulací, a to od jednoúčelových (např. ovládání určitého stroje<sup>300</sup>) až po komplexní (např. sociální simulace<sup>301</sup>, virtuální výuková prostředí<sup>302</sup> apod.).

**Tabulka 3 Vlastnosti zobrazovaného modelu podle použité technologie**

	Paralaktické						Direct volume				LF		Holograf.				
	Anaglyf	Chromadept	Stereoskop	Autostereogram	HMD	CAVE	Stereoprojekce	Autost. displeje	PDVD	Perspecta	DepthCube	SolidFelix 3D	Graphics Lab	HoloVizio	Klasický hologram	Digitální holo. tisk	Holografický displej
Komplexita																	
Čárová	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Grafika	0	0	+	0	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Fotografika	-	-	+	-	0	0	+	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
Abstrakce																	
Symbolické	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Schematické	+	0	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Realistické	0	-	+	-	0	0	+	+	-	+	-	-	+	+	+	+	0
Dynamičnost																	
Statický	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Animace	+	+	-	-	+	+	+	+	0	+	+	+	+	+	-	0	0
Dynamický	0	0	-	-	+	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-
Barevnost																	
Jednobarevný	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Omezená	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+
Plná	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	0	+	+
Imerze																	
Imerzivní	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Neimerzivní	+	+	+	+	0	0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

<sup>300</sup> TOMCZAK, Leonard. Application Of Marine Engine Room Simulators With 3d Visualization In The Training Process Of Emergency Operating Procedures. *Journal of POLISH CIMAC*. 2009, vol. 4, no. 2, s. 10. Dostupný také z WWW: <<http://www.polishcimac.pl/Papers2/2009/036.pdf>>. ISSN 1231–3998.

<sup>301</sup> SEFFERS, George I. Virtual Humans Keep It Real. *SIGNAL Magazine* [online]. June 2011, [cit. 2011-08-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.afcea.org/signal/articles/templates/Signal\\_Article\\_Template.asp?articleid=2625&zoneid=285](http://www.afcea.org/signal/articles/templates/Signal_Article_Template.asp?articleid=2625&zoneid=285)>.

<sup>302</sup> ŘÍHA, Daniel. 3-D multi-uživatelské rozhraní a podpora kolaborativního učení. In *Konference BELCOM 2003*. Praha : [s.n.], 2003. s. 7. Dostupné z WWW: <Konference BELCOM 2003, Praha>.

## 4 Výzkumné šetření

### 4.1 Cíle a organizace šetření

Úkolem realizovaného výzkumného šetření bylo odhalení specifických didaktických aspektů prostorového zobrazování v prostředí školské edukace. Jak vyplývá z teoretické analýzy, jeví se prostorová inteligence jako klíčový faktor pro studijní úspěšnost žáků při studiu technicky orientovaných oborů.<sup>303</sup> Cíle výzkumného šetření vycházejí z teoretické analýzy provedené v kapitole 3 (Didakticko-technická specifika prostorového zobrazování), resp. z jejích závěrů, zejména pak závěrů učiněných v souvislosti s prostorovou inteligencí a její pozicí klíčového faktoru ve studijní úspěšnosti žáků při studiu technicky orientované látky. Hlavním cílem výzkumného šetření proto bylo zjištění míry vlivu prostorového zobrazování ve výuce na výsledky učení žáků s ohledem na úroveň jejich prostorové inteligence. Součástí experimentu bylo rovněž zkoumání didaktických a funkčně-technických specifik začlenění prostorového zobrazování do konkrétní výukové situace.

Základní metodou provedeného výzkumu byl didaktický experiment. Experiment byl organizován formou párovaných skupin<sup>304</sup> na vybrané škole (Základní škola a Mateřská škola Kamenný Újezd, dále jen experimentální škola) a probíhal v období leden až březen 2011. Sledovaná třída byla tvořena žáky 8. třídy (celkem 32, z toho 20 chlapců a 12 dívek) ve věku 14 až 15 let. Žáci v době konání experimentu navštěvovali jednu třídu a pro účely experimentu byli rozděleni do dvou oddělených skupin (výuka každé skupiny probíhala odděleně, se stejným učitelem). Rodiče žáků účastnících se experimentu vyjádřili předem souhlas s účastí písemnou formou. Tento souhlas byl získán u všech žáků experimentální třídy.

V první (přípravné) fázi byly provedeny kroky nutné k vytvoření experimentální a kontrolní skupiny. Rozdělení žáků probíhalo metodou párového výběru skupin za účelem eliminace

---

<sup>303</sup> DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>.

<sup>304</sup> PELIKÁN, Jiří. *Základy empirického výzkumu pedagogických jevů*. Praha : Karolinum, 1998. 270 s. ISBN 80-7184-569-8.

rozdílů ve zkoumaných skupinách. Hodnotícím kritériem pro rozdělení žáků do skupin byla úroveň jejich schopnosti mentálních rotací.

Obě skupiny žáků absolvovaly výuku stejného tematického celku (Stereometrie - Válec), přičemž v kontrolní skupině byly používány pouze pomůcky s využitím plošných zobrazení (obrazy, nákresy, plošná projekce pomocí DVP) a v experimentální skupině trojrozměrná zobrazení (digitální projekce anaglyfu pomocí DVP). Obě skupiny žáků dále používaly stejné učebnice<sup>305</sup> a pracovní sešity<sup>306</sup>. Výuka probíhala po dobu dvou týdnů (celkem 10 vyučovacích hodin v každé skupině). Výuka byla v experimentální i kontrolní skupině zaznamenávána pomocí audiovizuálního záznamu a formou záznamových incidenčních archů.

Pro ověření výsledků experimentálního zásahu byly vypracovány tři nestandardizované výkonové srovnávací testy. Podoba jednotlivých testů a jejich vyhodnocení je uvedeno v kapitole 4.2.3 Testování výsledků experimentálního zásahu.

## 4.2 Použité výzkumné metody a nástroje

Hlavním výzkumným nástrojem se v empirické části této práce stal didaktický experiment. Didaktický experiment je popisován v odborné literatuře jako jeden z hlavních nástrojů zkoumání edukační reality<sup>307</sup>. V klasickém kvantitativním výzkumu rozlišuje literatura obvykle pouze výzkum *ex-post-facto* a *experiment*<sup>308</sup>.

Chráska<sup>309</sup> uvádí, že na rozdíl od výzkumu *ex-post-facto*, kdy nejdříve dochází ke shromáždění údajů o závisle proměnné a následně k hledání množiny nezávisle proměnných, které jsou příčinou či podmínkou zjištěného stavu, je výzkumníkem u *experimentu* úmyslně manipulováno alespoň jednou nezávisle proměnnou a následně dochází ke zkoumání závisle

---

<sup>305</sup> ODVÁRKO, Oldřich; KADLEČEK, Jiří. *Matematika pro 8. ročník základní školy, 3. díl*. 1. vydání. Praha : Prometheus, 2000. 79 s. ISBN 80-7196-183-3.

<sup>306</sup> KOČÍ, Slavomír; KOČÍ, Ladislav. *Matematika 8. ročník 3. díl*. [s.l.] : [s.n.], 2009. 75 s.

<sup>307</sup> Edukační realita je „každá taková skutečnost (prostředí, situace, proces, aj.), objektivně se vyskytující v lidské společnosti, v níž probíhají nějaké edukační procesy nebo jsou vyvíjeny nebo fungují nějaké edukační konstrukty.“ PRŮCHA, Jan. *Moderní pedagogika : věda o edukačních procesech*. 1. vydání. Praha : Portál, 1997. 496 s. ISBN 80-7178-170-3. str.58

<sup>308</sup> SKALKOVÁ, Jarmila, et al. *Úvod do metodologie a metod pedagogického výzkumu*. 1. Praha : SPN, 1983. 208 s., str. 20

<sup>309</sup> CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu : Základy kvantitativního výzkumu*. 1. Praha : Grada Publishing, a. s., 2007. 272 s. ISBN 978-80-247-1369-4., str. 27

proměnné (nebo proměnných). Experimentální výzkumy díky definované nezávisle proměnné (nebo několika proměnných) poskytují věrohodnější výsledky než výzkumy *ex-post-facto*.

Chráska rozlišuje tři základní techniky experimentu:

- techniku jedné skupiny
- techniku paralelních skupin
- techniku rotace faktorů

Někteří autoři (Lindquist<sup>310</sup>) dále tuto techniku hodnotí z hlediska spolehlivosti získaných výsledků. Hovoří o takzvaných výzkumných plánech, jejichž spolehlivost stoupá od jedné do šesti.

- plán 1 – jedna škola, 2 třídy (experimentální a kontrolní), různí učitelé
- plán 2 – jedna škola, 2 třídy (experimentální a kontrolní), stejný učitel
- plán 3 – více škol, z každé školy 1 třída (některé experimentální a některé kontrolní), různí učitelé
- plán 4 – více škol, na každé 2 třídy (experimentální a kontrolní), stejný učitel na každé škole
- plán 5 – jedna škola, 2 třídy (experimentální a kontrolní), stejný učitel. Třídy jsou vytvořeny na základě didaktického testu (metoda párových skupin)
- plán 6 – stejný jako plán 5, pouze na více školách

V této práci je použito pro experiment techniky paralelních skupin, přičemž výzkumný plán odpovídá páté úrovni podle Lindquista.

Užití metody párových skupin není příliš časté především z důvodu obtížné organizace takového výzkumu<sup>311</sup>. Možnost využití této metody byla ovlivněna především unikátní situací na experimentální škole. Žáci byli na začátku osmé třídy sloučeni z původně dvou oddělených

---

<sup>310</sup> LINDQUIST, Everett Franklin. *Statistická analýza v pedagogickém výzkumu*. Praha : SPN, 1967. 264 s. podle CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu : Základy kvantitativního výzkumu*. 1. Praha : Grada Publishing, a. s., 2007. 272 s. ISBN 978-80-247-1369-4., st. 30

<sup>311</sup> CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu : Základy kvantitativního výzkumu*. 1. Praha : Grada Publishing, a. s., 2007. 272 s. ISBN 978-80-247-1369-4., str. 55

tříd do třídy jedné. Zároveň však jsou pro výuku některých předmětů (matematika, fyzika, chemie, informatika) rozdělováni do dvou menších skupin (tyto skupiny neodpovídají rozdělení v původních třídách) a to především z důvodů menších kapacit specializovaných učeben. Po dobu experimentu tak výuka ve sledovaném předmětu (matematika) probíhala vždy odděleně a to v čase původní výuky, nebo jako náhrada za jiný předmět. Původně společné hodiny matematiky naopak nahradily výuku v předmětech, které byly rozvrhovány jako půlené. (viz Tabulka 5)

**Tabulka 4 Částečný původní rozvrh experimentální třídy**

	7:50 - 8:35	8:45 - 9:30	9:50 - 10:35	10:45 - 11:30	11:40 - 12:25
pondělí	Fyzika A	Fyzika B		Matematika	
úterý		Matematika	Fyzika A	Fyzika B	
středa			Matematika	Informatika B	Informatika A
čtvrtek		Matematika B	Matematika A	Fyzika	
pátek	Matematika A	Matematika B			

#### 4.2.1 Přípravná fáze

Cílem přípravné fáze experimentu bylo především vytvoření experimentální a kontrolní skupiny formou párových výběrů. Během této fáze byly žákům předloženy celkem dva testy, a to standardizovaný test mentálních rotací (MRT, Mental Rotation Test)<sup>312</sup> a test prostorové představivosti Santa Barbara Solids Test (SBST)<sup>313</sup>. Dále byly zkoumány studijní výsledky žáků v matematice v posledních dvou letech školní docházky (výsledné známky na pololetních a ročních vysvědčeních).

Před vlastní administrací testů sledované třídy byla provedena pokusná aplikace testu s žáky osmé třídy mimo experimentální školu (Základní škola Dukelská, České Budějovice). Pilotního testu se účastnilo celkem 14 žáků, z toho 9 chlapců a 5 dívek.

<sup>312</sup> Dostupný z Spatial Intelligence and Learning Center [online]. 2008 [cit. 2011-09-12]. Dostupné z WWW: <<http://spatiallearning.org>>.

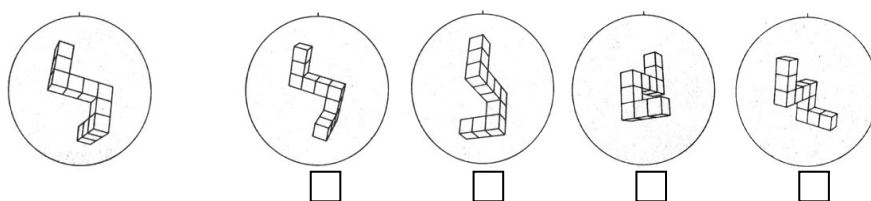
<sup>313</sup> Ibidem.

Cílem pokusné aplikace testu bylo ověřit obsah, formu a časový rámec administrace a pochopitelnost zadání položek obou testů. Při pokusné aplikaci nebyly zjištěny žádné závažnější nedostatky v testu MRT ani SBST.

**Tabulka 5 Upravený rozvrh experimentální třídy**

	7:50 - 8:35	8:45 - 9:30	9:50 - 10:35	10:45 - 11:30	11:40 - 12:25
pondělí	Matematika K	Matematika E			
úterý			Matematika E	Matematika K	
středa				Matematika K	Matematika E
čtvrtek		Matematika E	Matematika K		
pátek	Matematika K	Matematika E			

Testování sledované třídy proběhlo dne 28. ledna 2011 v budově experimentální školy, v kmenové učebně sledované třídy a to ve dvou skupinách v rámci výuky matematiky (viz Tabulka 4). Administrace testů začínala vždy představením výzkumného pracovníka, vysvětlením účelu testování i celého budoucího experimentu. Dále byly žákům vysvětleny pokyny pro vyplňování testů. Tyto instrukce byly zároveň v textové podobě součástí obou testů.



**Obrázek 33 Ukázka otázky z testu MRT<sup>314</sup>**

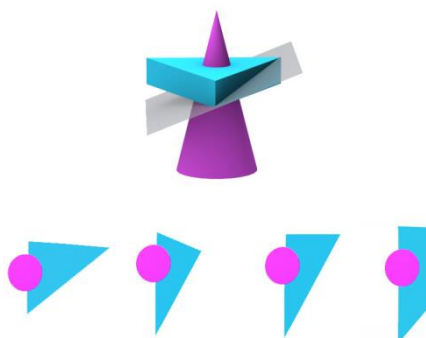
Oba testy jsou neverbální a sestávají pouze z otázek grafického charakteru<sup>315</sup>. Odpovědi jsou v obou případech výběrové (2 správné ze 4 v případě MRT, 1 správná ze 4 v případě SBST).

<sup>314</sup> Dostupné z *Spatial Intelligence and Learning Center* [online]. 2008 [cit. 2011-09-12]. Dostupné z WWW: <<http://spatiallearning.org>>.

<sup>315</sup> Otázky i odpovědi byly provedeny formou grafického znázornění.

Testy byly původně vytvořeny v anglickém jazyce a pro tuto aplikaci byly přeloženy do češtiny. Vzhledem k tomu, že se jedná o testy nonverbální, týkal se překlad pouze úvodních instrukcí.

Test MRT je časově omezen a je tvořen dvěma částmi. Každá část obsahuje 10 otázek a na vyřešení každé části má testovaný 3 minuty. Otázky byly formátovány tak, aby se na jednu stranu listu o velikosti A4 vešlo právě 10 otázek. Mezi jednotlivými částmi byla žákům poskytnuta 3 minutová přestávka. Před začátkem testu měli testovaní žáci možnost si znovu pročíst instrukce a vyzkoušet si řešení testu na třech cvičných úlohách. Po přečtení instrukcí byl dán povel k otočení listu s instrukcemi a řešení první sady otázek. Po 3 minutách žáci odložili psací potřeby a během přestávky měli možnost se zeptat na nejasnosti s řešením testu, což nikdo z testovaných ani v jedné skupině nevyužil. Po přestávce byl opět dán pokyn k otočení dalšího listu zadání a dokončení testu. Každý testovaný obdržel vlastní zadání testu, do kterého přímo vyznačil odpovědi.



Obrázek 34 Ukázka otázky z testu SBST<sup>316</sup>

Test SBST nebyl časově omezen a každému žákovi byl poskytnut dostatek času na jeho dokončení a kontrolu. Všichni žáci dokončili test v čase do 20 minut. Test tvoří 29 otázek. Při administraci testu byl před samotným testem vysvětlen pojem *řez tělesem*, o který se celý test opírá (celkem 10 minut). Před začátkem testu měli testovaní žáci možnost vyzkoušet si řešení testu na jedné cvičné úloze. Každý z testovaných obdržel vlastní zadání testu a odpovědi zapsal na přiložený odpovědní arch. Po dokončení testu žáci vyčkali na dokončení testu ostatními žáky a následně své testy odevzdali.

---

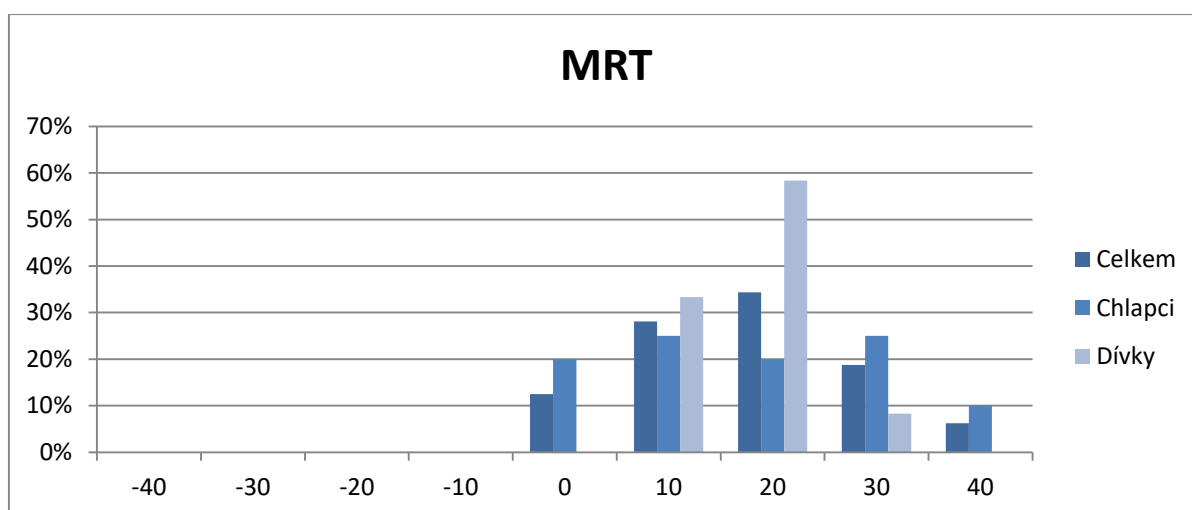
<sup>316</sup> Dostupné tamtéž

Kromě výzkumníka byla během testování přítomna i třídní učitelka experimentální třídy, která byla rovněž poučena o administraci a obsahu testů a napomáhala s jeho provedením.

**Tabulka 6 Srovnání výsledků chlapců a dívek v přípravné fázi experimentu**

Test	Průměr Ch	Průměr D	t-test	p
<b>MRT</b>	13,1	12,1	0,25	0,81
<b>SBST</b>	14,3	13,9	0,16	0,87
<b>Známky</b>	2,24	1,85	1,16	0,26

Oba testy (MRT a SBST) byly provedeny u všech žáků experimentální třídy. Výsledky testů byly ručně digitalizovány v programu Microsoft Excel 2010<sup>317</sup>. Dále byly pořízeny digitální kopie (scan) všech testů<sup>318</sup>.



**Graf 2 Histogram rozložení výsledků testu MRT**

### **MRT - hodnocení**

Bodové ohodnocení testu probíhalo následujícím způsobem: 1 bod za správnou odpověď, -1 bod za špatnou odpověď, 0 bodů pokud nebylo zodpovězeno. Testovaný mohl dosáhnout skóru od -40 do +40 bodů (-2 až +2 body za každou otázku). Žáci experimentální třídy dosáhli průměrného skóre 12,7 bodu, což představuje úspěšnost 66%.

<sup>317</sup> Dostupné v elektronické příloze

<sup>318</sup> Dostupné v elektronické příloze



Testování žáci dosáhli v MRT testu standardních výsledků vzhledem k jiným publikovaným výsledkům testovaných skupin. Například Sorby<sup>319</sup> ve svém článku uvádí, že studenti inženýrství dosahují úspěšnosti v testu MRT 61,9% u jedné z testovaných skupin, respektive 53% u druhé testované skupiny, což odpovídá dosažení 9,52, respektive 2,4 bodů. Jiný článek<sup>320</sup> udává výsledky u různých skupin studentů v rozmezí 61,28% až 63,27%, což odpovídá zisku 9,0 až 10,6 bodu. Výsledky testu MRT nevykazují na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  signifikantní rozdíly mezi testovanými dívkami a chlapci (viz Tabulka 7).

**Tabulka 7 Výsledky žáků v testu MRT**

MRT	Počet	Průměr	Průměr (%)	Minimum	Maximum	Sm. odch.
<b>Všichni</b>	32	12,7	66%	-8	36	11,1
<b>Chlapci</b>	20	13,1	66%	-8	36	13,5
<b>Dívky</b>	12	12,1	65%	4	22	5,7

### **SBST - hodnocení**

Bodové ohodnocení testu SBST probíhalo následujícím způsobem: 1 bod za správnou odpověď, 0 bodů za špatnou odpověď nebo pokud nebylo zodpovězeno. Testovaný mohl dosáhnout skóru od 0 do 28 bodů (0 nebo 1 bod za každou otázku). Žáci experimentální třídy dosáhli průměrného skóre 14,2 bodu, což představuje úspěšnost 51%.

Výsledky testu SBST nevykazují na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  signifikantní rozdíly mezi testovanými dívkami a chlapci (viz Tabulka 8).

**Tabulka 8 Výsledky žáků v testu SBST**

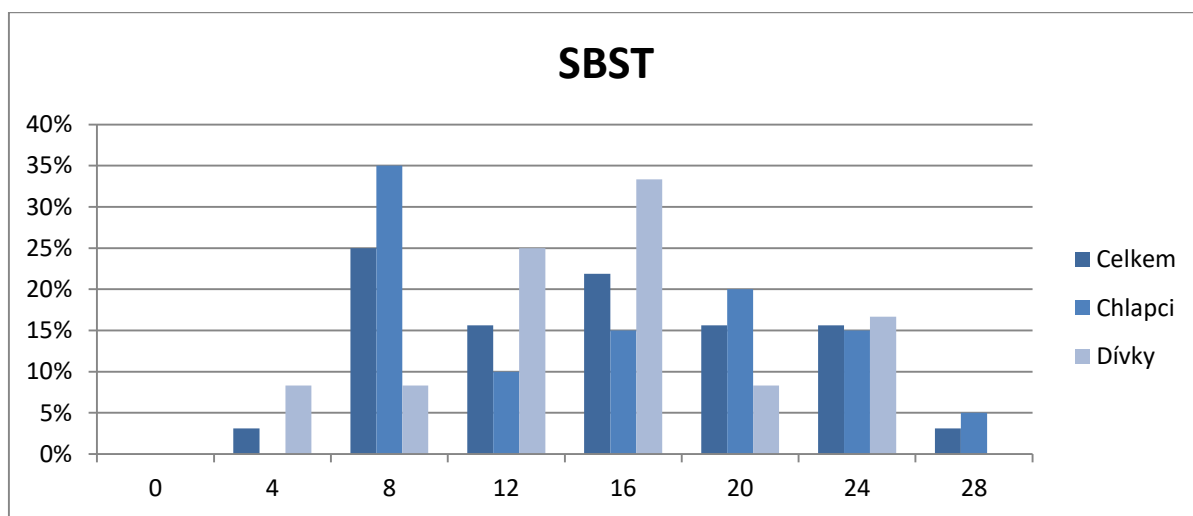
SBST	Počet	Průměr	Průměr (%)	Minimum	Maximum	Sm. odch.
<b>Všichni</b>	32	14,2	51%	4	27	6,5
<b>Chlapci</b>	20	14,3	51%	5	27	7,0
<b>Dívky</b>	12	13,9	50%	4	24	5,8

<sup>319</sup> SORBY, Sheryl. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, 13, 1, [cit. 2011-02-02]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821.

<sup>320</sup> LEOPOLD, Cornelia; GÓRSKA, Renata A.; SORBY, Sheryl A. International Experiences in Developing the Spatial Visualization Abilities of Engineering Students. In *Journal of Geometrics and Graphics*. Volume 5, No.1. [s.l.] : [s.n.], 2001. s. 81-91. Dostupné z WWW: <[http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg01\\_05/jgg0509.pdf](http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg01_05/jgg0509.pdf)>.

### Studijní výsledky

U sledované třídy byly zkoumány kromě úrovně mentálních rotací a prostorové představivosti rovněž studijní výsledky žáků v rámci předmětu, ve kterém probíhalo experimentální šetření (matematika). Z databáze školy byly extrahovány výsledky žáků za poslední dva a půl roku školní docházky (u dvou subjektů nebyly k dispozici známky z 6. třídy z důvodu přestupu z jiné školy). Při hodnocení studijních výsledků žáků byly zkoumány dostupné výsledné známky na pololetních a závěrečných vysvědčení (tedy od pololetí 6. třídy až po pololetí 8. třídy).



Graf 3 Histogram rozložení výsledků testu SBST

### Studijní výsledky – vyhodnocení

Studijní výsledky žáků nevykazují výrazné výchylky v průběhu školní docházky. U 15 žáků z 32 zkoumaných nedošlo po celé zkoumané období ke změně hodnocení. Ke zlepšení známky mezi jednotlivými vysvědčeními došlo ve zkoumaném období v 13 případech a ke zhoršení v 15 případech (celkový počet hodnocených intervalů 124). Průměrná známka z matematiky ve sledované třídě je 2,1 (průměr známek za celé hodnocené období). Průměrná známka z matematiky při posledním vysvědčení (1. pololetí, 8. ročník) byla rovněž 2,1. Tabulka 9 ukazuje rozložení známek za sledované období ve sledované třídě. Dívky dosáhly průměrné známky 1,9 a chlapci 2,2. Mezi známkami chlapců a dívek nejsou na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  statisticky významné rozdíly (viz Tabulka 6).

Tabulka 9 Studijní výsledky žáků sledované třídy

	Pohlaví	6_I	6_II	7_I	7_II	8_I	Průměr
Subjekt 1	M	4	3	3	4	4	3,6
Subjekt 2	Z	3	2	3	2	3	2,6
Subjekt 3	M	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 4	M	4	4	3	3	3	3,4
Subjekt 5	M	3	3	3	3	3	3,0
Subjekt 6	M	1	2	2	2	2	1,8
Subjekt 7	M	3	3	3	4	4	3,4
Subjekt 8	Z	3	3	4	4	4	3,6
Subjekt 9	Z	2	3	2	2	2	2,2
Subjekt 10	Z	3	2	2	2	2	2,2
Subjekt 11	M	2	2	2	2	2	2,0
Subjekt 12	M	2	2	2	2	2	2,0
Subjekt 13	M	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 14	M	1	2	2	2	2	1,8
Subjekt 15	M	2	2	2	2	2	2,0
Subjekt 16	Z	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 17	M	3	3	3	3	3	3,0
Subjekt 18	Z	3	3	3	2	3	2,8
Subjekt 19	Z	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 20	M	-	-	2	2	2	2,0
Subjekt 21	Z	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 22	Z	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 23	M	2	2	2	2	2	2,0
Subjekt 24	M	2	1	1	1	1	1,2
Subjekt 25	M	-	-	1	1	2	1,3
Subjekt 26	Z	2	2	3	2	3	2,4
Subjekt 27	M	4	4	4	4	4	4,0
Subjekt 28	Z	2	1	1	2	1	1,4
Subjekt 29	M	1	1	1	1	1	1,0
Subjekt 30	M	2	3	3	2	3	2,6
Subjekt 31	M	3	3	3	2	2	2,6
Subjekt 32	Z	1	1	1	1	1	1,0

### Vyhodnocení přípravné fáze

V přípravné fázi experimentu byly zkoumané subjekty hodnoceny ve třech parametrech, přičemž každý z těchto parametrů byl měřen jiným způsobem:

- úroveň schopností mentálních rotací – MRT
- úroveň prostorové představivosti – SBST
- studijní výsledky v matematice – studijní výsledky

Naměřené hodnoty vykazují statisticky významnou korelaci mezi výsledky testu MRT a studijní úspěšností žáků (CORELL = -0,68,  $p < 0,01$ ,  $N = 32$ ).

Získaná data jsou v souladu s předpokladem<sup>321</sup>, že mentální rotace jsou nejdůležitější složkou prostorové inteligence pro úspěch v technických oborech, tedy i v matematice.

**Tabulka 10 Korelační tabulka parametrů sledovaných v přípravné fázi experimentu**

	Známky	SBST	MRT
MRT	-0,68	0,30	1,00
SBST	-0,34	1,00	0,30
Známky	1,00	-0,34	-0,68

### Sestavení kontrolní a experimentální skupiny

Na základě výsledků testu MRT byla formou párových výběrů sestavena kontrolní a experimentální skupina. Všichni žáci byli při tomto rozdělení nejprve seřazeni podle výsledku v MRT testu. Následně byl vždy první žák z každé dvojice (páru) žáků uvedených v seznamu za sebou zařazen do jedné a druhý žák do druhé skupiny. Losem bylo poté stanoveno, která ze skupin bude kontrolní a která experimentální. Každou skupinu tvořilo 16 žáků. Volba MRT jako směrodatného testu pro vytvoření párových výběrů se jeví jako vhodnější vzhledem ke skutečnosti, že prostorová představivost na rozdíl mentálních rotací není v takové míře ovlivněna zkušeností a věkem zkoumaných subjektů.<sup>322</sup>

---

<sup>321</sup> Viz kapitola 3.4.1 Prostorová inteligence

<sup>322</sup> LINN, Marcia C.; PETERSEN, Anne C. Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis. *Child Development*. 1985, 56, 6, s. 1479-1498.

Kontrolní skupina (viz Tabulka 11) byla tvořena 10 chlapci a 6 dívkami. V testu MRT dosáhla průměrného skóru 12,1 bodu. Průměrná známka z matematiky byla 2,0. V testu SBST bylo ve skupině dosaženo průměrného skóru 15,3 bodu.

**Tabulka 11 Kontrolní a experimentální skupina v přípravné fázi experimentu**

Subjekt	Pohlaví	Skupina	Pár	Známka	MRT	SBST
Subjekt 17	M	K	1	3,0	-8	5
Subjekt 4	M	E	1	3,4	-8	24
Subjekt 7	M	K	2	3,4	-4	20
Subjekt 31	M	E	2	2,6	-2	19
Subjekt 1	M	K	3	3,6	1	16
Subjekt 27	M	E	3	4,0	3	21
Subjekt 22	Z	K	4	1,0	4	22
Subjekt 15	M	E	4	2,0	4	15
Subjekt 8	Z	K	5	3,6	5	27
Subjekt 26	Z	E	5	2,4	6	14
Subjekt 5	M	K	6	3,0	8	23
Subjekt 10	Z	E	6	2,2	9	8
Subjekt 6	M	K	7	1,8	9	4
Subjekt 19	Z	E	7	1,0	11	10
Subjekt 9	Z	K	8	2,2	11	23
Subjekt 2	Z	E	8	2,6	12	12
Subjekt 16	Z	K	9	1,0	14	22
Subjekt 18	Z	E	9	2,8	14	11
Subjekt 12	M	K	10	2,0	14	19
Subjekt 11	M	E	10	2,0	16	6
Subjekt 21	Z	K	11	1,0	17	7
Subjekt 23	M	E	11	2,0	17	7
Subjekt 28	Z	K	12	1,4	20	8
Subjekt 24	M	E	12	1,2	20	18
Subjekt 20	M	K	13	2,0	22	14
Subjekt 32	Z	E	13	1,0	22	10
Subjekt 3	M	K	14	1,0	24	17
Subjekt 30	M	E	14	2,6	24	14
Subjekt 14	M	K	15	1,8	26	7
Subjekt 25	M	E	15	1,3	29	7
Subjekt 13	M	K	16	1,0	31	13
Subjekt 29	M	E	16	1,0	36	10

Experimentální skupina byla tvořena 10 chlapci a 6 dívkami. V testu MRT dosáhla průměrného skóru 13,3 bodu. Průměrná známka z matematiky byla 2,1. V testu SBST bylo ve skupině dosaženo průměrného skóru 13,0 bodu.

Mezi experimentální a kontrolní skupinou nebyly zjištěny ve sledovaných parametrech na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  žádné signifikantní rozdíly (viz Tabulka 12).

**Tabulka 12 Rozdíly ve složení experimentální a kontrolní skupiny**

	Průměr K	Průměr E	t	p
<b>Známka</b>	2,05	2,13	-0,25	0,80
<b>MRT</b>	12,13	13,31	-0,30	0,77
<b>SBST</b>	15,25	13,06	0,95	0,35

#### 4.2.2 Experiment

Hlavní část experimentu probíhala na experimentální škole od 14. 2. 2011 do 25. 2. 2011. Experiment byl po celou dobu sledován výzkumníkem. Úkolem výzkumníka bylo kromě sledování experimentální a kontrolní skupiny, také obsluha záznamového zařízení a vytváření další dokumentace. Kvůli omezení vlivu výzkumníka na motivaci, chování a výsledky žáků a zároveň chování v experimentu angažované učitelky, byl výzkumník přítomen ve vyučování matematiky již jeden týden před vlastním zahájením experimentu. Pro potřeby další analýzy byl v experimentální i kontrolní skupině pořizován audiovizuální záznam každé hodiny.<sup>323</sup> Zároveň byl pořizován incidenční záznam z každé hodiny.<sup>324</sup>

Aby došlo k omezení vlivu pořadí skupin při vyučování na kvalitu a průběh výuky, střídaly se obě skupiny v pořadí hodin v denním rozvrhu (viz Tabulka 5). Obě skupiny tak během experimentu absolvovaly 10 vyučovacích hodin (10 x 45 min). Výuka ve skupinách probíhala vždy ve dvou po sobě následujících vyučovacích hodinách, ve stejné učebně. Po celou dobu experimentu probíhala výuka ve dvou učebnách, a to v kmenové učebně třídy (vybavení: DVP s rozlišením 1024x768 px, vstupy pro projekci vyvedeny v zásuvkách na zdi, v případě potřeby je zde při výuce připojen notebook, přístup na internet, černá tabule) a v učebně chemie a fyziky (vybavení: DVP s rozlišením 1280x1024 px, trvale připojený osobní počítač, ozvučení, interaktivní tabule ActiveBoard, přístup na internet, bílá tabule). V kmenové

<sup>323</sup> Záznamy jsou k dispozici v elektronické příloze práce

<sup>324</sup> Záznamy jsou k dispozici v elektronické příloze práce

učebně proběhly celkem 4 vyučovací hodiny, v učebně chemie a fyziky hodin 16. Po celou dobu experimentu byly obě skupiny vyučovány odděleně stejnou učitelkou a v rámci předmětu matematika neproběhla žádná společná výuka. Vyučovaný tematický celek (Stereometrie - Válec) byl předmětem výuky po celou dobu experimentálního zásahu.

V průběhu experimentu dosáhla v kontrolní skupině celková absence 16 hodin (nejvíce 3 hodiny, průměrně 1,0 hodina) a v experimentální skupině 28 hodin (nejvíce 7 hodiny, průměrně 1,8 hodiny).

### *Pomůcky*

Obě sledované skupiny používaly během experimentu stejné učebnice, cvičebnice a sbírky. Aby bylo během experimentu dosaženo minimalizace vlivu intervenujících proměnných, došlo v kontrolní skupině k eliminaci jiných než plošných (digitálních či fyzických) pomůcek. Pro výuky v experimentální skupině byly navíc připraveny trojrozměrné ekvivalenty některých příkladů a nákresů. Pokud byla vytvořena pomůcka primárně pro experimentální skupinu, bylo toto prostorové zobrazení nahrazeno v kontrolní skupině izometrickým nebo perspektivním plošným zobrazením<sup>325</sup>.

Aby bylo vyloučeno sdílení trojrozměrných modelů v rámci kolektivu experimentální třídy, nebyly žákům poskytnuty pomůcky pro sledování trojrozměrného obrazu (anaglyfové brýle) k domácímu využití a domácí práce byly zadávány vždy pouze s využitím nákresů v učebnici nebo cvičebnici.

Celkem bylo ve výuce experimentální skupiny použito 8 statických modelů (ve formátu PNG), 11 dynamických modelů (video ve formátu AVI) a interaktivní software pro anaglyfickou projekci těles. Ve všech případech byl v kontrolní skupině trojrozměrný model nahrazen dvojrozměrným ekvivalentem (odpovídající nákres v učebnici, projekce v isometrickém zobrazení apod.).

### *Vyhodnocení průběhu experimentu*

Během pozorování experimentální a kontrolní skupiny byly výzkumníkem pořízeny incidenční záznamy všech hodin. Z těchto záznamů vyplývá, že průběh hodin v experimentální

---

<sup>325</sup> Všechny použité pomůcky jsou součástí elektronické přílohy.

i kontrolní skupině byl prakticky identický. V obou skupinách tvořil celkový sledovaný objem výuky 10 vyučovacích hodin, tedy 450 minut v každé ze skupin.

V kontrolní skupině žáci během experimentu pracovali po dobu 86 minut (19% celkového času) s učebnicí, 29 minut (6% celkového času) s cvičebnicí a 195 minut (43% celkového času) se sešitem.

Dále bylo využito tabule po dobu 84 minut (19% celkového času), interaktivní tabule<sup>326</sup> po dobu 87 minut (19% celkového času) a digitální projekce po dobu 26 minut (6% celkového času).

**Tabulka 13 Struktura hodiny v experimentální a kontrolní skupině**

	Kontrolní		Experimentální	
	min	%	min	%
<b>Pomůcky</b>				
Učebnice	9	19%	8	18%
Cvičebnice	3	6%	3	6%
Sešit	20	43%	21	47%
<b>Vybavení</b>				
Tabule	9	19%	10	22%
Interaktivní tabule	9	19%	13	29%
DVP	3	6%	3	7%
<b>Prostorové zobrazení</b>				
Prostorové zobrazení	0	0%	17	38%

Během výuky byl po dobu 176 minut (39% celkového času) aktivní pedagog. Žáci aktivně pracovali po dobu 327 minut (73% celkového času). Aktivita na obou stranách byla po dobu 102 minut (23% celkového času). Z toho vyplývá, že žáci byli během výkladu učitele pasivní pouze po dobu 74 minut (16% celkového času). Administrativní úkony tvořily 40 minut (9% celkového času).

V experimentální skupině žáci během experimentu pracovali po dobu 80 minut (18% celkového času) s učebnicí, 27 minut (6% celkového času) s cvičebnicí a 212 minut (47% celkového času) se sešitem.

---

<sup>326</sup> Přestože interaktivní tabule rovněž pracují s digitální projekcí, vykazují určitá didaktická specifika, kvůli kterým bylo jejich využití sledováno samostatně.



Dále bylo využito tabule po dobu 101 minut (22% celkového času), interaktivní tabule po dobu 131 minut (22% celkového času) a digitální projekce po dobu 30 minut (7% celkového času). Ve výuce bylo využito prostorového zobrazování ve formě anaglyfické projekce v celkovém čase 170 minut (38% celkového času).

Během výuky byl po dobu 173 minut (38% celkového času) aktivní pedagog. Žáci aktivně pracovali po dobu 327 minut (73% celkového času). Aktivita na obou stranách byla po dobu 98 minut (22% celkového času). Z toho vyplývá, že žáci byli během výkladu učitele pasivní pouze po dobu 75 minut (17% celkového času). Administrativní úkony tvořily 33 minut (7% celkového času).

Větší podíl využití interaktivní tabule v experimentální skupině (29% experimentální, 19% kontrolní) je důsledek použitých prostorových zobrazení, která bylo možno prezentovat pouze za pomoci digitální projekce. Možnosti interaktivity použité tabule nebyly vesměs používány, nebo byly využity stejným způsobem v kontrolní i experimentální skupině.

Po celou dobu experimentu nebyly u dětí zaznamenány potíže se sledováním anaglyfického zobrazení v podobě bolestí hlavy, únavy očí a dalších známých problémů<sup>327</sup>.

#### 4.2.3 Testování výsledků experimentálního zásahu

Zjišťování výsledků experimentálního zásahu bylo prováděno pomocí didaktických testů. První dva testy byly žákům předloženy bezprostředně po dokončení experimentální části (dva dny po sobě, v rámci výuky matematiky). Třetí test byl žákům předložen po delší časové prodlevě (14 dní). Během této doby pokračovala výuka podle původního rozvrhu experimentální třídy. Vyučované téma nesouviselo s tématem, které bylo vyučováno během experimentu<sup>328</sup>. Všechny testy byly zadávány třídní učitelkou bez přítomnosti výzkumného pracovníka.

---

<sup>327</sup> HÄKKINEN, Jukka, et al. Simulator Sickness in Virtual Display Gaming : A Comparison of Stereoscopic and Non-stereoscopic Situations. In *MobileHCI 06 : Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. New York : ACM, 2006. s. 227-229. Dostupné z WWW: <<http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/jukka.hakkinen/ref-26/p227-hakkinen.pdf>>. ISBN 1-59593-390-5.

<sup>328</sup> Experiment probíhal na tematickém celku „Stereometrie - Válec“. Následující tematický celek byl „Lineární rovnice“

**Tabulka 14 Výsledky testu T1 - úlohy**

Označení	Body	Průměr E	Průměr K
Úloha 1	1	0,6	0,4
Úloha 2	1	0,7	0,6
Úloha 3	2	1,1	0,9
Úloha 4	3	2,6	1,9
Úloha 5	5	1,8	1,9
Úloha 6	5	0,1	0,8
Úloha 7	5	1,5	1,5

První z testů (dále T1<sup>329</sup>) byl sestaven z otázek, které jsou součástí v experimentální třídě používaných učebnic, cvičebnic a běžně dostupných sbírek příkladů pro výuku matematiky pro základní školy. Tento test si kladl za cíl porovnat výkony žáků v typických školních úlohách. Před aplikací testu ve sledované třídě byl test zkušebně aplikován mimo experimentální školu. Každý z žáků obdržel vlastní kopii zadání, do kterého vyplňoval odpovědi. Celkem test obsahoval 7 matematických úloh. Jednotlivé úlohy byly bodově hodnoceny od 1 do 5 bodů. Žáci mohli získat i část bodů za ne zcela správnou odpověď. Maximální počet bodů byl 22. Prvního testu se zúčastnilo celkem 29 žáků z 32 (15 žáků z kontrolní a 14 z experimentální skupiny).

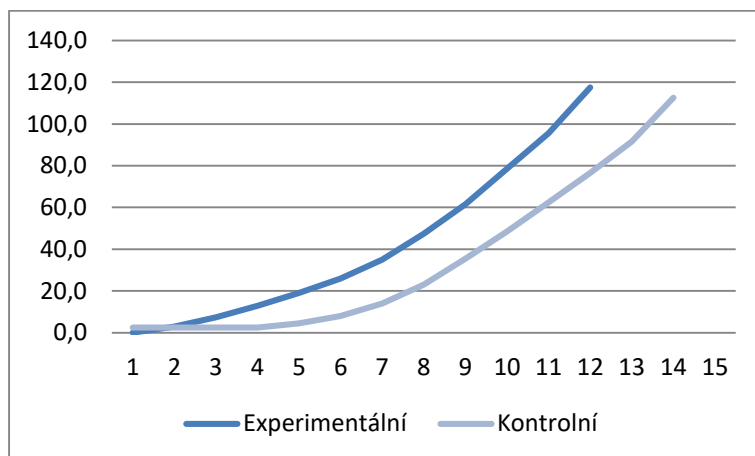
**Tabulka 15 Výsledky testu T2 - úlohy**

Označení	Body	Průměr E	Průměr K
Úloha 1	3	2,4	2,5
Úloha 2	1	0,6	0,8
Úloha 3	4	1,8	1,7
Úloha 4	6	5,9	4,7
Úloha 5	3	1,3	1,7
Úloha 6	3	1,0	1,8
Úloha 7	3	1,7	1,5

Obtížnost úloh v testu se postupně zvyšovala, což odpovídá i jejich bodovému hodnocení. Úlohy byly orientovány na výpočet obsahu pláště i objemu válce. Úspěšnost žáků v řešení úloh se snižovala se vzrůstající obtížností úloh. Překvapující je úspěšnost žáků v úloze 4, kde

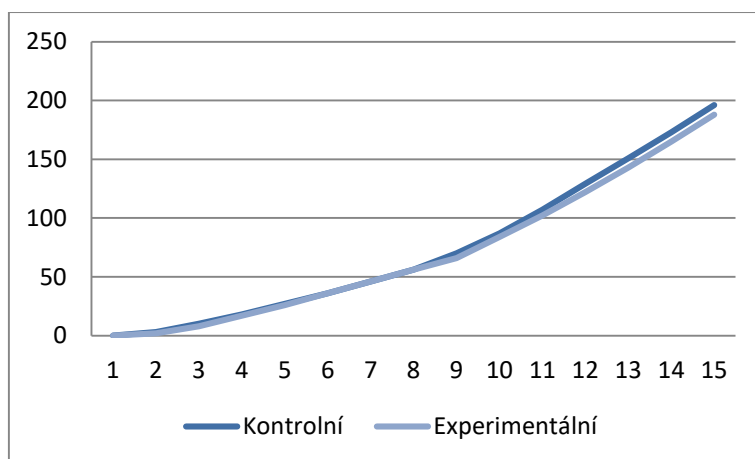
<sup>329</sup> Zadání testu viz Příloha A Zadání testu T1

žáci dosahovali vyšší úspěšnosti, než v jednodušších úlohách 1, 2 a 3. Většina žáků navíc získala v této úloze plný počet bodů (17 žáků). V úloze 1 získalo plný počet bodů pouze 11 žáků. Tuto abnormalitu se nepodařilo uspokojivě vysvětlit. Nízká úspěšnost žáků v úloze 6 byla zřejmě způsobena komplikovaným zadáním za použití nákresu.



**Graf 4 Galtonova ogiva výsledků testu T1 (Kontrolní a experimentální)**

Druhý test (dále T2<sup>330</sup>) byl sestaven tak, aby při jeho řešení byla uplatněna prostorová představivost. Celkem test obsahoval 7 matematických úloh. Jednotlivé úlohy byly bodově hodnoceny od 1 do 6 bodů. Žáci mohli získat i část bodů za ne zcela správnou odpověď.

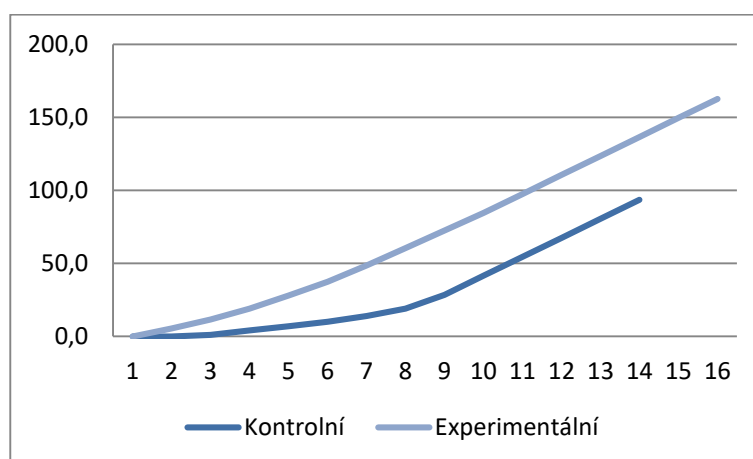


**Graf 5 Galtonova ogiva výsledků testu T2 (Kontrolní a experimentální)**

<sup>330</sup> Zadání testu viz Příloha B Zadání testu T2

Maximální počet bodů byl 23. Druhého testu se zúčastnilo celkem 31 žáků z 32 (16 žáků z kontrolní a 15 z experimentální skupiny).

Test byl sestaven především z úloh opírajících se o nákres (6 ze 7 úloh). Zadání byla koncipována tak, aby se eliminovala nutnost použití vzorců a složitějších výpočtů. Cílem tohoto testu bylo minimalizovat vliv dovedností jednotlivých žáků v základních



**Graf 6 Galtonova ogiva výsledků testu T3 (kontrolní a experimentální)**

matematických úkonech.

Třetí test (dále T3<sup>331</sup>) je na experimentální škole používán již několik let jako kontrolní test k tematickému celku Stereometrie - Válec. Je sestaven ze sbírkových a učebnicových úloh, podobně jako test T1. Celkem test obsahoval 7 matematických úloh. Jednotlivé úlohy byly bodově hodnoceny jedním nebo dvěma body. Žáci mohli získat i část bodů za ne zcela správnou odpověď. Maximální počet bodů byl 13. Třetího testu se zúčastnilo celkem 30 žáků z 32 (14 žáků z kontrolní a 16 z experimentální skupiny).

### Vyhodnocení

Hodnocení výsledků didaktického experimentu se opírá o výsledky výše uvedených testů T1, T2 a T3. Výsledky byly hodnoceny z hlediska dvou disjunktních podvýběrů. Hlavní pozornost je věnována především skupině žáků, kteří dosáhli relativně horších výsledků v testu MRT (12 a méně bodů, dále značení jako skupina LOMRT) a vztahům mezi výkony žáků experimentální

<sup>331</sup> Zadání testu viz Příloha C Zadání testu a vzorové řešení T3

**Tabulka 16 Zkratky použité při vyhodnocování výsledků experimentu**

Zkratka	Význam
<b>U</b>	Hodnota testového kritéria U (Mann-Whitneyho U-Test)
<b>U<sub>k</sub>(X,Y)</b>	Kritická hodnota U pro danou velikost skupin, při $p=0,05$ a dvoustranném rozdělení <sup>332</sup>
<b>SP<sub>E</sub></b>	Součty pořadí v experimentální skupině (rank sum)
<b>SP<sub>K</sub></b>	Součty pořadí v kontrolní skupině (rank sum)
<b>Z</b>	Hodnota Z-transformace
<b>p</b>	Dosažená hladina významnosti
<b>Z<sub>U</sub></b>	Upravená hodnota Z-transformace (vhodná pro malé výběry)
<b>p<sub>U</sub></b>	Upravená hladina významnosti (vhodná pro malé výběry)
<b>E<sub>n</sub></b>	Počet platných hodnot z experimentální skupiny
<b>K<sub>n</sub></b>	Počet platných hodnot z kontrolní skupiny
<b>p<sub>2</sub></b>	Dosažená hladina významnosti pro dvoustranný test
<b>p<sub>1</sub></b>	Dosažená hladina významnosti pro jednostranný test ( $p_2/2$ )

a kontrolní skupiny. Doplnkem této skupiny je skupina žáků, kteří dosáhli relativně lepších výsledků v testu MRT (13 a více bodů, dále označeni jako skupina HIMRT). Hranice 12 bodů byla stanovena výpočtem aritmetického průměru skóre v MRT testu všech testovaných žáků. Při vyhodnocování dat naměřených v testech T1 až T3 byli ze zkoumaného vzorku odebráni žáci s absencí větší než 25% (více než 2 vyučovací hodiny). Celkem bylo z hodnocení vyloučeno 5 žáků (subjekty 10, 12, 15, 18 a 27).

Pro statistické vyhodnocení byl použit softwarový nástroj StatSoft Statistica CZ v.9.1. Jako hlavní test pro určení rozdílů mezi experimentálními a kontrolními skupinami byl použit neparametrický Mann-Whitneyho U-Test, který je vhodný i pro testování malých vzorků

**Tabulka 17 Vyhodnocení didaktických výkonových testů (podvýběr LOMRT)**

LOMRT	SP <sub>E</sub>	SP <sub>K</sub>	U	Z	p	Z <sub>U</sub>	p <sub>U</sub>	E <sub>n</sub>	K <sub>n</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>1</sub>
<b>T1</b>	46,50	44,50	8,50	1,61	0,11	1,62	0,10	5	8	0,09	0,05
<b>T2</b>	35,00	31,00	10,00	0,82	0,41	0,84	0,40	5	6	0,43	0,21
<b>T3</b>	51,50	39,50	3,50	2,34	0,02	2,38	0,02	5	8	0,01	0,01

<sup>332</sup> CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu : Základy kvantitativního výzkumu*. 1. Praha : Grada Publishing, a. s., 2007. 272 s. ISBN 978-80-247-1369-4., str. 92 a str. 252

Tabulka 18 Vyhodnocení didaktických výkonových testů (podvýběr HIMRT)

HIMRT	SP <sub>E</sub>	SP <sub>K</sub>	U	Z	p	Z <sub>U</sub>	p <sub>U</sub>	E <sub>n</sub>	K <sub>n</sub>	p <sub>2</sub>	p <sub>1</sub>
<b>T1</b>	47,50	43,50	19,50	-0,14	0,89	-0,14	0,89	7	6	0,84	0,42
<b>T2</b>	45,50	59,50	17,50	-0,83	0,41	-0,84	0,40	7	7	0,38	0,19
<b>T3</b>	32,50	45,50	17,50	0,08	0,94	0,09	0,93	5	7	1,00	0,50

ordinálních dat.

### *Výsledky testů*

Analýza výsledků T1

#### *LOMRT*

##### *Stanovení hypotéz*

H<sub>1L\_0</sub>: Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru LOMRT v testu T1 nejsou rozdíly.

H<sub>1L\_A</sub>: Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru LOMRT jsou v testu T1 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

##### *Výsledky statistické analýzy*

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T1 průměrného skóre 3,5 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T1 průměrného skóre 7,2 bodu. U skupiny žáků LOMRT byl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T1 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 17). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu U=8,5 (E<sub>n</sub>=5; K<sub>n</sub>=8; p<sub>1</sub> < 0,05; U<sub>k</sub>(5,8)=6). Můžeme tedy odmítnout nulovou hypotézu a přijmout hypotézu alternativní.

#### *HIMRT*

##### *Stanovení hypotéz*

H<sub>1H\_0</sub>: Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru HIMRT v testu T1 nejsou rozdíly.

H<sub>1H\_A</sub>: Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru HIMRT jsou v testu T1 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

### *Výsledky statistické analýzy*

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T1 průměrného skóre 14,1 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T1 průměrného skóre 11,6 bodu. U skupiny žáků HIMRT nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T1 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 18). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu  $U=19,5$  ( $E_n=7$ ;  $K_n=6$ ;  $p_1 > 0,05$ ;  $U_k(6,7)=6$ ). Můžeme tedy přijmout nulovou hypotézu.

### *Analýza výsledků T2*

#### *LOMRT*

#### *Stanovení hypotéz*

$H_{2L_0}$ : Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru LOMRT v testu T2 nejsou rozdíly.

$H_{2L_A}$ : Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru LOMRT jsou v testu T2 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

### *Výsledky statistické analýzy*

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T2 průměrného skóre 8,3 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T2 průměrného skóre 11,6 bodu. U skupiny žáků LOMRT nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T2 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 17). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu  $U=10$  ( $E_n=5$ ;  $K_n=6$ ;  $p_1 > 0,05$ ;  $U_k(5,6)=3$ ). Musíme tedy přijmout nulovou hypotézu.

#### *HIMRT*

#### *Stanovení hypotéz*

$H_{2H_0}$ : Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru HIMRT v testu T2 nejsou rozdíly.

$H_{2H_A}$ : Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru HIMRT jsou v testu T2 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

### *Výsledky statistické analýzy*

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T2 průměrného skóre 19,6 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T2 průměrného skóre 17,1 bodu. U skupiny žáků HIMRT nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T2 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 18). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu  $U=17,5$  ( $E_n=7$ ;  $K_n=7$ ;  $p_1 > 0,05$ ;  $U_k(7,7)=8$ ). Můžeme tedy přijmout nulovou hypotézu.

### *Analýza výsledků T3*

#### *LOMRT*

#### *Stanovení hypotéz*

$H_{3L_0}$ : Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru LOMRT v testu T3 nejsou rozdíly.

$H_{3L_A}$ : Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru LOMRT jsou v testu T3 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

### *Výsledky statistické analýzy*

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T3 průměrného skóre 3,9 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru LOMRT dosáhli v testu T3 průměrného skóre 12,1 bodu. U skupiny žáků LOMRT byl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T3 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 17). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu  $U=3,5$  ( $E_n=5$ ;  $K_n=8$ ;  $p_1 < 0,01$ ;  $U_k(5,8)=6$ ). Můžeme tedy odmítnout nulovou hypotézu a přijmout hypotézu alternativní.

#### *HIMRT*

#### *Stanovení hypotéz*

$H_{3H_0}$ : Mezi výsledky žáků kontrolní a experimentální skupiny podvýběru HIMRT v testu T3 nejsou rozdíly.

$H_{3H_A}$ : Výsledky žáků experimentální skupiny podvýběru HIMRT jsou v testu T3 lepší než výsledky žáků kontrolní skupiny.

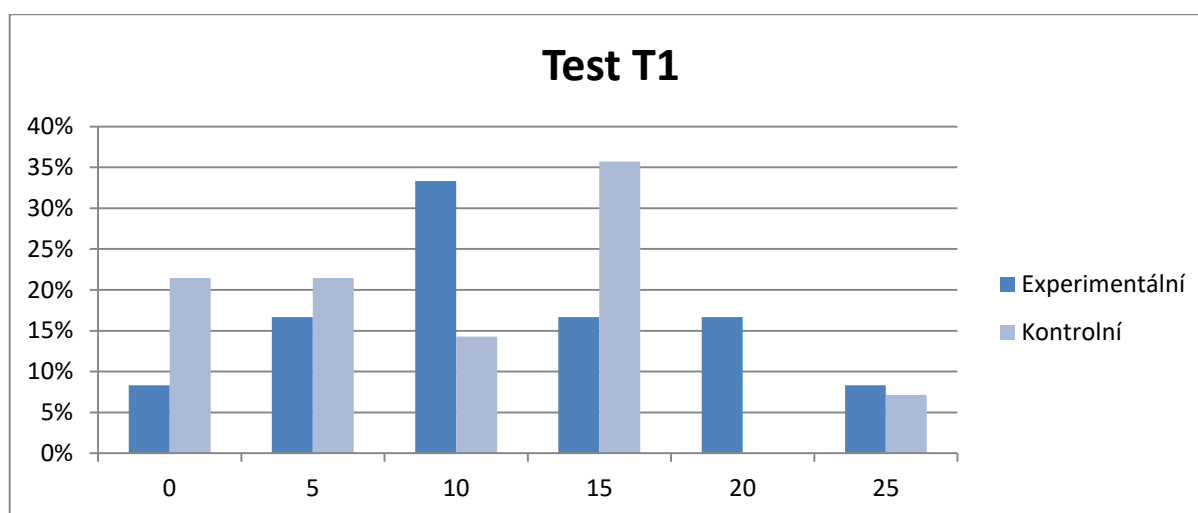


### Výsledky statistické analýzy

Žáci kontrolní skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T3 průměrného skóre 12,1 bodu. Žáci experimentální skupiny v podvýběru HIMRT dosáhli v testu T3 průměrného skóre 10,8 bodu. U skupiny žáků HIMRT nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl v dosažených skóre v testu T3 mezi experimentální a kontrolní skupinou (podrobně viz Tabulka 18). Hodnota U-Testu má v tomto případě hodnotu  $U=17,5$  ( $E_n=5$ ;  $K_n=7$ ;  $p_1=0,50$ ;  $U_K(5,7)=5$ ). Můžeme tedy přijmout nulovou hypotézu.

### 4.3 Interpretace a diskuze výsledků experimentu

V experimentu provedeném na sledované skupině 32 žáků experimentální školy (resp. na 28 žácích zařazených do statistického vyhodnocení experimentálního zásahu) žáci experimentální skupiny dosáhli v rámci podvýběru LOMRT ve všech měřeních lepších výsledků než žáci skupiny kontrolní. U dvou z těchto testů byl rozdíl statisticky významný na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . U žáků z podvýběru HIMRT byly rozdíly v testech zaměřených na zkoumání vlivu experimentálního zásahu statisticky nevýznamné na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$ . Z naměřených výsledků lze usuzovat na pozitivní vliv aplikace prostorového zobrazování ve výuce u žáků s nižší úrovní prostorové inteligence, resp. s nižší úrovní schopnosti mentálních rotací.



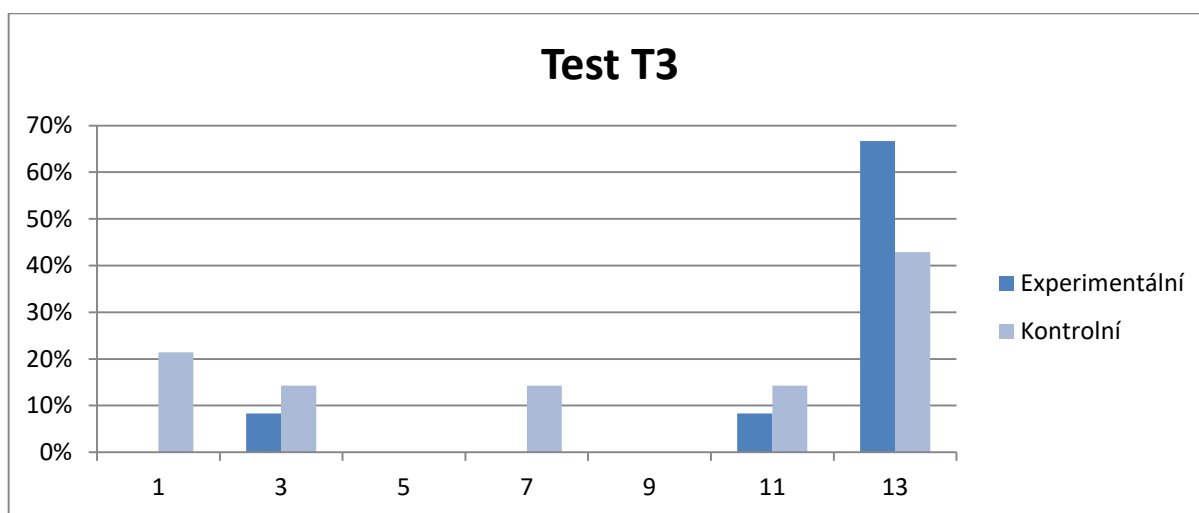
Graf 7 Histogram relativního rozložení výsledků v testu T1

Vyrovnané výsledky experimentální a kontrolní skupiny v testu T2 lze vysvětlit charakterem testových otázek, které byly zaměřeny na využití prostorové inteligence, která však nebyla experimentálním zásahem cíleně ovlivňována. Vyrovnané výsledky v testu T2 tak prokazují

vyrovnanost experimentální a kontrolní skupiny v daném parametru, jak bylo záměrem při realizaci výzkumného plánu.

Jelikož je nízká úroveň schopnosti mentálních rotací v korelaci se studijní úspěšností v matematice, jak již bylo dokázáno výše, ilustruje test T3 lépe výsledky žáků v podvýběru LOMRT. V podvýběru HIMRT dosáhlo 7 žáků z 12 (58%), kteří psali test, maximálního počtu bodů. Z pohledu testu T3 se jedná o žáky se stejnou úspěšností.

Intervenující proměnné, resp. jejich vliv, byly v experimentu maximálním způsobem eliminovány formou realizace a podmínkami průběhu experimentu. Za jedinou nezávisle proměnnou tak lze považovat použití či nepoužití prostorového zobrazování jako didaktického prostředku.



**Graf 8 Histogram relativního rozložení výsledků v testu T3**

Rozdíly ve složení experimentální a kontrolní skupiny byly eliminovány metodou párových výběrů. Nezanedbatelné je jistě působení Hawthornského efektu<sup>333</sup> na zkoumané subjekty. Vliv výzkumníka na zkoumané subjekty byl zmírněn přítomností výzkumníka v experimentální i kontrolní skupině. Zároveň byl výzkumník přítomen ve výuce i před samotným zahájením experimentu. Kompenzace tohoto efektu bylo dosaženo rovněž délkou

---

<sup>333</sup> Jako Hawthornský efekt se označuje vliv vědomí zkoumaných subjektů, že se účastní experimentu na jejich chování a výkon během experimentu. (podle PELIKÁN, Jiří. *Základy empirického výzkumu pedagogických jevů*. Praha : Karolinum, 1998. 270 s. ISBN 80-7184-569-8., str. 229)

experimentálního zásahu. Během této doby se nasazené technologie a přítomnost výzkumníka staly pro zkoumané subjekty v podstatě všední.

Výsledky provedeného experimentu nelze zobecňovat, ačkoliv mají vzhledem k charakteru realizovaného výzkumného plánu jistou vypovídací hodnotu. Pro úplné potvrzení naměřených výsledků, je však potřeba experiment provést na větším počtu skupin subjektů. Provedený experiment možno vzhledem k tomuto záměru považovat za pilotní projekt, mající současně charakter případové studie, se závěry platnými v prostředí zkoumané skupiny.

## 5 Závěr

Tato disertační práce se usilovala o uchopení fenoménu prostorového zobrazování z hlediska didaktiky, především pak z pohledu teorie technických výukových prostředků. Východiskem práce byl předpoklad vysokého edukačního potenciálu technologií prostorového zobrazování v roli technických výukových prostředků a předpokládané brzké rozšíření těchto technologií v prostředí škol a vzdělávání obecně.

Práce v první řadě vymezuje pojem prostorového zobrazování v kontextu etablovaných technických výukových prostředků a vymezuje didaktická specifika prostorového zobrazování obecně i didaktická specifika jednotlivých technologií prostorového zobrazování. Dále zabývá problematikou vnímání prostorového zobrazení a jeho vlivem na proces učení, přičemž je zvláštní důraz kladen na vztah prostorového zobrazování jako výukového prostředku a prostorové inteligence (resp. některých jejích složek) učícího se.

Práce se snaží ukázat specifickou pozici prostředků prostorového zobrazování v edukačním procesu, specifickou percepce a kognice prostorově zobrazovaných dat a adekvátnost aplikace prostorového zobrazování v konkrétních didaktických situacích.

Teoreticky orientovaná část práce je koncipována jako analyticko-syntetická studie fenoménu prostorového zobrazování a jeho prostředků. Prostředky prostorového zobrazování jsou nejprve terminologicky vymezeny a zařazeny do kontextu příbuzných pojmů z oblasti počítačové grafiky a zobrazování obecně (kapitola 3.1). Na základě této definice je analyzována oblast technologických řešení prostorového zobrazování z hlediska jejich funkčně-technologických specifik a je provedeno jejich zařazení do navrhovaných percepčních kategorií (kapitola 3.2). Vyústěním této analytické části je klasifikační rámec pro začlenění prostředků prostorového zobrazování do systému technických výukových prostředků jak z hlediska technologického, tak i z didakticky významného hlediska percepčního.

Z technologického hlediska jsou prostředky prostorového zobrazování děleny podle čtyř dominantních technologickýchází, a to na technologie paralaktické, technologie pracující s přímým zobrazením v prostoru, light field systémy (technologie reprodukcující světelné pole) a technologie holografické.

Klasifikace prostředků prostorového zobrazování z hlediska percepce jimi produkováného zobrazení se děje pomocí trojice percepčních os. První osou je osa zachycující počet diváků, kteří mohou sledovat dané zobrazení. V práci jsou vymezeny dva typy zobrazení, a to zobrazení monoskopické a polyskopické. Druhá osa reflektuje schopnost zobrazení přizpůsobovat se změně fyzické polohy diváka vůči zobrazení navozením pohybové paralaxy. Technologie jsou děleny na technologie podporující aktivní, nebo pouze pasivní paralaxu. Forma zobrazení tvoří třetí percepční osu a zachycuje subjektivně vnímanou podobu zobrazení. Forma zobrazení může být konvexní, plošná nebo konkávní.

Prostředky prostorového zobrazování jsou na základě analýzy vymezeny jako specifická skupina technických prostředků majících společná funkčně-technologická a percepční specifika.

Práce dále přináší pohled na aspekty prostorového zobrazování ve vztahu k prostorové inteligenci, percepci a kognici prostorových vizuálních informací (kapitola 3.4). Z konceptů kognitivní psychologie a kognitivní vědy související s tématem práce je to především teorie mentálního modelu a teorie kognitivní zátěže. Z hlediska prostorové inteligence (kapitola 3.4.1) je pro práci stěžejní fakt významné korelace mezi úrovní schopnosti mentálních rotací a studijní úspěšností v technických oborech. Jako významný je identifikován i fakt genderové nerovnosti v úrovni prostorové inteligence a zvyšování této disbalance v průběhu dospívání. Práce se rovněž zabývá mentální reprezentací vnímaných informací a poukazuje na odlišnosti těchto reprezentací v podobě mentálních modelů vznikajících na základě sledování plošných a prostorových zobrazení (kapitola 3.4.2). Dále je diskutován vztah použité formy prezentace informací (tedy prezentace pomocí plošného či prostorového zobrazení) s procesem učení, založený na konceptu pracovní paměti a kognitivní zátěže (kapitola 3.4.3). Tato část práce vyúsťuje v domněnku, že nižší úroveň prostorové inteligence vede k zvýšené kognitivní zátěži učícího se (kapitola 3.4.4). Nahrazení plošného zobrazení prostorovým má v případě žáků s nižší úrovní prostorové inteligence pozitivní vliv na snížení kognitivní zátěže a tedy i pozitivní vliv na proces zpracování předkládaných informací učícím se.

V další části je práce orientována na didaktická specifika prostorového zobrazování (kapitola 3.5). Stanovování didaktických specifík prostorového zobrazování vychází ze vztahu ke stávajícím technickým výukovým prostředkům, především pak klasickému (tedy plošnému) promítanému zobrazení. Práce akcentuje jako hlavní didaktické specifikum

prostorového zobrazování fakt, že oproti plošnému zobrazování umožňuje zobrazovat určitý typ informací (především prostorové uspořádání zobrazovaného modelu) přímo, bez nutnosti jejich úprav. Věrnější simulací reality a realizací zásady názornosti se prostorové zobrazení v určitých situacích stává didakticky efektivnějším způsobem komunikace než plošné zobrazení. V kapitole 3.5 je prostorové zobrazování dáváno rovněž do úzké souvislosti s virtuální realitou, imerzí diváka do virtuálního světa a působením na emoční stránku učícího se.

Didaktická specifika jsou rovněž dána do souvislosti s třemi definovanými percepčními osami. Monoskopické nebo polyskopické zobrazení (kapitola 3.5.1) má vliv především na organizační formu výuky. Polyskopické zobrazení je vhodnější pro frontální výuku, přičemž je omezena možnost obsahové a časové diferenciací vyučování. Monoskopické technologie umožňují obvykle větší personalizaci zobrazení a individualizaci výuky, ale omezují přímou interakci mezi účastníky vyučování.

Schopnost zobrazení navozovat aktivní paralaxu (kapitola 3.5.2) se podílí na přiblížení zobrazení přirozené zkušenosti s vnímáním prostoru, což umožňuje zvýšit efektivitu didaktické komunikace. Aktivní paralaxa nabízí větší možnosti aktivní a přirozené explorační zobrazovaného modelu divákem.

Poslední percepční osa - forma zobrazení - určuje, v souvislosti s mírou obsazení percepčního pole diváka, významným způsobem vhodný didaktický obsah pro prezentaci danou skupinou zařízení (kapitola 3.5.3). Konkávní zobrazení (obklopující diváka) jsou vhodná pro komplexní modely simulující prostředí, ve kterých se divák nachází. Konvexní zobrazení jsou vhodná pro modely, které je třeba zkoumat v jejich celistvosti, z vnějšku. Plošná zobrazení jsou na pomezí mezi konkávním a konvexním a volba zobrazovaného obsahu je u nich méně determinována.

Práce se dále zaměřuje na jednotlivé představitele prostředků prostorového zobrazování a identifikuje didaktická specifika konkrétních zařízení nebo jejich skupin (kapitola 3.5.4). Jako nejdostupnější skupina prostředků prostorového zobrazování je identifikována skupina paralaktických technologií, které v různé formě pokrývají větší část percepčních kategorií.

Stanovení didaktických specifik prostorového zobrazování je zakončeno vytýčením specifik plynoucích ze zobrazovaného obsahu (modelu). V práci je určeno celkem pět didakticky

významných vlastností zobrazovaných modelů: komplexita, abstrakce, dynamičnost, barevnost a imerze.

Komplexita modelu představuje zamýšlenou kvalitu modelu z hlediska uplatnění grafických prvků. Míra abstrakce určuje úroveň přiblížení modelu realitě. Dynamičnost reflektuje schopnost modelu zachycovat pohyb či změny. Způsob využití a účel barev v modelu je zachycen ve vlastnosti nazvané barevnost. Imerze modelu se vztahuje k zamýšlenému navození dojmu vtažení diváka do modelu a pocit jeho přítomnosti v modelu.

Práce vymezuje didaktická specifika prostorového zobrazování od nejobecnější úrovně, společné všem prostředkům prostorového zobrazování, přes specifika jednotlivých percepčních kategorií až po specifika daná konkrétními technickými prostředky. Přestože možnosti nasazení prostorového zobrazování ve vyučování jsou velmi široké a lze je šířkou záběru přirovnat k možnostem tradiční plošné projekce, je diskutován rovněž vztah prezentovaného obsahu (modelu) a vhodné prezentační technologie.

Prostředky prostorového zobrazování jsou v teoreticky orientované části práce identifikovány z hlediska jejich didaktických specifik jako svébytný druh technických výukových prostředků, jejichž edukativní potenciál lze efektivně využívat ve školské praxi.

Empirická část práce je reprezentována výzkumným projektem v podobě pedagogického experimentu. Projekt byl koncipován s primárním cílem verifikovat vztahy mezi prostorovou inteligencí (resp. jejími složkami), prostorovým zobrazováním v roli didaktického prostředku a studijními výsledky žáků. Tyto vztahy byly předmětem zájmu i v teoretické části práce a vyústily v závěr, že aplikace prostorového zobrazování ve výuce je vhodným prostředkem komunikace výukového obsahu především u žáků s nízkou úrovní schopnosti mentální rotace.

Výzkumný projekt je tvořen třemi částmi. V první fázi (Přípravná fáze, kapitola 4.2.1), bylo zkoumáno složení sledované skupiny žáků. Subjekty byly zkoumány z hlediska úrovně schopnosti mentálních rotací za použití standardizovaného testu MRT, úrovně schopnosti prostorové představivosti pomocí testu SBST (Santa Barbara Solids Test) a dále byly zkoumány studijní výsledky sledovaných žáků v matematice za poslední dva roky školní docházky.

Při vyhodnocení výsledků přípravné fáze byla zjištěna v souladu s předpoklady teoretické části práce statisticky významná korelace mezi výsledky MRT testu a studijními výsledky žáků. Ve výsledcích testů MRT s SBST, ani studijních výsledcích žáků nebyly zjištěny statisticky významné genderové rozdíly.

Žáci sledované třídy byli rozděleni pro potřeby experimentu na dvě rovnocenné skupiny metodou párových vývěrů na základě výsledků v testu MRT. Obě skupiny byly vyrovnané i po stránce výsledků testu SBST, studijních výsledků a v poměru dívek a chlapců.

Druhá fáze byla tvořena samotným experimentálním zásahem (kapitola 4.2.2). V experimentální skupině byly využívány pomůcky určené pro prostorové zobrazování ve formě anaglyfu. Byla použita statická zobrazení, dynamická zobrazení (videosekvence) a interaktivní software (primárně vyvinutý pro didaktické účely). V kontrolní skupině bylo prostorové zobrazování nahrazeno ekvivalentním zobrazením pomocí perspektivní či izometrické projekce na plochu.

Průběh všech výukových hodin v experimentální i kontrolní skupině byl zaznamenáván ve formě digitálního videozáznamu a formou incidenčních archů. V průběhu experimentu bylo prostorové zobrazování v experimentální skupině využíváno v průměru 17 minut každou vyučovací jednotku (což představuje 38% času).

Výsledky experimentálního zásahu byly ověřovány ve třetí fázi experimentu (kapitola 4.2.3) trojicí didaktických testů s rozdílným zacílením. První test byl sestaven z běžných sbírkových a učebnicových úloh. Druhý test byl sestaven z úloh vyžadující především prostorovou inteligenci (T2). Třetí test je na škole, kde byl prováděn experimentální zásah, používán již několik let a je rovněž sestaven ze sbírkových úloh (T3).

Při hodnocení výsledků experimentálního zásahu byli hodnocení žáci rozděleni do dvou podvýběrů. Podvýběr LOMRT představovali žáci s relativně nižším výkonem v testu MRT vůči celé testované skupině. Podvýběr HIMRT tvořili ho žáci s vyšším než průměrným skóre v testu MRT. Toto dělení bylo provedeno především na základě závěrů teoretické části, které naznačovaly pozitivní efekt aplikace prostorového zobrazování u žáků s nízkou prostorovou inteligencí v důsledku snížení některých složek kognitivní zátěže.

Závěry statistického vyhodnocení experimentálního zásahu ukazují, že žáci experimentální skupiny z podvýběru LOMRT dosáhli v testech složených z běžných sbírkových příkladů (T1



a T3) statisticky významně lepších výsledků než žáci kontrolní skupiny téhož podvýběru (měřeno Mann-Whitneyho U-Testem, hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ ).

V tesu T2 zaměřeném na prostorovou inteligenci nebylo dosaženo statisticky významného rozdílu mezi kontrolní a experimentální skupinou a to v žádném z podvýběrů. Tento výsledek byl v případě testu založeného na úlohách orientovaných na prostorovou inteligenci očekáván. Vyrovnanost skupin v testu T2 lze zdůvodnit vyrovnáním úrovní prostorové inteligence subjektů v daných skupinách a podvýběrech.

U žáků z podvýběru HIMRT nebyl u žádného z testů zjištěn statisticky významný rozdíl mezi kontrolní a experimentální skupinou na hladině významnosti ( $\alpha = 0,05$ ).

Vzhledem ke zjištěným skutečnostem lze konstatovat, že žáci s nízkou úrovní schopnosti mentálních rotací profitují z prostorového zobrazování více než žáci, kteří mají tuto schopnost více rozvinutou. Prostorové zobrazení snižuje u žáků s nízkou úrovní schopnosti mentálních rotací míru kognitivní zátěže a napomáhá vytvoření příslušného mentálního modelu. Schopnost mentálních rotací je významnou složkou prostorové inteligence, která má přímý vztah k efektivitě aplikace plošného zobrazování v procesu učení. Při aplikaci zobrazování prostorového je význam schopnosti mentálních rotací snížen, takže žákům s vysokou úrovní schopnosti mentálních rotací může postačovat k vytvoření adekvátního mentálního modelu plošné zobrazování.

Disertační práce se pokusila jako jeden z hlavních cílů vymezit nejasně definovanou oblast prostorového zobrazování a jeho prostředků a definovat hlavní pojmové konstrukty související s touto problematikou. Tato snaha vyústila v komplexní pojmovou a funkční analýzu z hlediska psychologie vnímání, didaktiky a techniky. V rámci práce byla navržena definice prostředků prostorového zobrazování a popsány stávající technologie z této kategorie i technologie příbuzné. Některé závěry teoretického zkoumání byly následně ověřeny empiricky pomocí experimentu.

V návaznosti na výše uvedené analýzy, empirická šetření a interpretace lze závěrem formulovat odpovědi na výzkumné otázky položené v úvodu práce.

Otázce, zda lze považovat prostorové zobrazování za druh didaktického prostředku, byla v rámci práce věnována pozornost především v kapitole 3. Didakticko-technická specifika prostorového zobrazování. Prostorové zobrazování bylo v předkládané práci vymezeno jako

samostatný a zřetelně definovaný didaktický prostředek, který má potenciál širokého uplatnění v edukaci. Kromě vlastní definice prostorového zobrazování a jeho prostředků (kapitola 3.1.4 Prostředek prostorového zobrazování) bylo prostorové zobrazování vymezeno z hlediska funkčně-technologického (kapitola 3.2 Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování). Na tomto základě byla provedena kategorizace existujících technologií umožňující prostorové zobrazování v kapitole 3.3 Prostředky prostorového zobrazování.

Obsah výše uvedených kapitol lze shrnout do konstatování, že prostorové zobrazování lze považovat za specifický didaktický prostředek, jehož hlavní specifikum je spojeno především s možností pracovat oproti plošnému zobrazení s další dimenzí a umožňuje tak přímo poskytnout informace, které musí být pro plošnou prezentaci jistým způsobem upraveny. Prostředky prostorového zobrazování je pak možné považovat primárně za technické výukové prostředky, ve smyslu funkčního spojení příslušného technického zařízení a zobrazovaného modelu (předlohy).

Z hlediska dosahování výukových cílů lze identifikovat jisté informační a percepční charakteristiky prostorového zobrazení, které ho odlišují od zobrazení plošného. Této problematice je věnována především kapitola 3.4 Kognitivní aspekty prostorového zobrazení. Jako klíčový se v otázce specifík vnímání prostorového zobrazení z hlediska edukace jeví koncept kognitivní zátěže. Je možno vyjít z předpokladu, že při absorpci vizuálních informací je během procesu učení množství absorbovaných informací pozitivně ovlivněno snížením celkové kognitivní zátěže učícího se. Míra této kognitivní zátěže je závislá na individuálních vlastnostech žáka.

Mentální modely vytvářené na základě sledování prostorového zobrazení vykazují jisté rozdíly oproti mentálním modelům vytvořeným při sledování zobrazení plošného. Tyto rozdíly jsou způsobeny jednak snížením celkové kognitivní zátěže při sledování zobrazení, a tedy uvolnění kognitivní kapacity pro hlubší porozumění zobrazovanému modelu, a jednak možností přímého vnímání prostorového uspořádání zobrazovaného modelu. Mentální model vytvořený na základě prostorového zobrazení si zachovává přesněji prostorové uspořádání vzhledem k zobrazovanému modelu a je komplexnější. Správný mentální model vede pravděpodobněji ke správným deduktivním závěrům a jeho kvalita je proto zásadní pro další zpracování poznatků učícím se.

Ve vztahu k otázce jaké jsou obecné charakteristiky didaktických situací či úloh, v nichž lze preferovat prostorové zobrazování jako didaktický prostředek, je možné konstatovat, že prostorové zobrazování lze uplatnit v mnoha didaktických situacích, především však tam, kde je účelné komunikovat prostorové uspořádání zobrazovaného obsahu, případně je vhodné akcentovat pocit vnošení do zobrazovaného modelu. Přesnější volba vhodného prostředku prostorového zobrazování je pak závislá především na konkrétním obsahu učiva a percepčních charakteristikách daného prostředku. Obdobně lze konstatovat, že pro prezentaci učiva daným dostupným prostředkem prostorového zobrazování je třeba volit zobrazovaný obsah a jeho formu na základě percepčních vlastností dané technologie.

K největšímu ovlivnění percepce zobrazení z pohledu prostorové inteligence dochází v případě sledování plošného zobrazení prostorového modelu. Dominantní složkou prostorové inteligence, která ovlivňuje vnímání diváka je zde schopnost mentálních rotací. U žáků s nižší úrovní schopnosti mentálních rotací dochází při sledování plošného zobrazení k vyšší kognitivní zátěži, která negativně ovlivňuje proces vytváření mentálního modelu a absorpci předkládaných skutečností. Při sledování prostorového zobrazení dochází ke snížení této zátěže a uvolnění mentálních kapacit, což vede k lepší absorpci učiva.

Didaktické specifikum prostorového zobrazení spočívá především ve schopnosti přímo poskytnout informace, které musí být pro plošnou prezentaci jistým způsobem upraveny. Prostorové zobrazování má vyšší informační potenciál pro vizuální komunikaci v porovnání se zobrazením plošným.

Disertační práce byla vzhledem k absenci studií uceleně se zabývajících prostorovým zobrazováním a jeho využitím ve vzdělávání pokusem o extenzivně pojatou analýzu fenoménu prostorového zobrazování zasahující do pedagogiky, didaktiky, psychologie i informační technologie. Při snaze o tento celostní přístup ke zkoumané problematice je jistě nezbytné závěry práce konfrontovat s dalšími výzkumy, a to především z oblasti pedagogiky a psychologie. Práce se vzhledem ke svému širokému záběru nemohla všem oblastem věnovat se stejnou hloubkou a je tak ve své podstatě pouze prvním krokem k dalšímu rozpracování problematiky prostorového zobrazování z pohledu dílčích odborných oblastí. Jako velmi zajímavou budoucí oblastí výzkumu se jeví být například otázka nahrazení plošného zobrazování prostorovým a dlouhodobý dopad této změny na prostorovou inteligenci žáků a dále pak otázky spojené s nasazením prostorového zobrazování

v systémech rozšířené reality nebo virtuálních vzdělávacích prostorech. Potřebným se jeví též pokračovat v ověřování vztahů mezi prostorovou inteligencí a efektivitou využití prostorového zobrazování ve vzdělávání ve smyslu v práci realizovaného empirického šetření s cílem zobecnění výše deklarovaných závěrů na větším počtu subjektů.

## 6 Použitá literatura a prameny

- [1] ADELSON, Edward A.; WANG, John Y. A. Single Lens Stereo with a Plenoptic Camera. In *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1992. New York : IEEE Computer Society, 1992. s. 99-106. Dostupné z WWW: <[http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub\\_pdfs/plenoptic.pdf](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub_pdfs/plenoptic.pdf)>. ISSN 0162-8828.
- [2] ADELSON, Edward H.; BERGEN, James R. *Computational Models of Visual Processing*. Cambridge, MA : MIT Press, 1991. The Plenoptic Function and the Elements of Early Vision, s. pp. 3-20. Dostupné z WWW: <[http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub\\_pdfs/elements91.pdf](http://web.mit.edu/persci/people/adelson/pub_pdfs/elements91.pdf)>. ISBN 978-0-262-12155-2.
- [3] ANDERSON, John Robert. *The architecture of cognition*. Cambridge : Harvard University Press, 1983. 345 s. ISBN 0-8058-2233-X.
- [4] ARLOW, Jim; NEUSTADT, Ila. *UML 2 a unifikovaný proces vývoje aplikací*. Vyd. 1. Praha : Computer Press, 2007. 568 s. ISBN 978-80-251-1503-9.
- [5] ARTINO, Anthony R. Cognitive Load Theory and the Role of Learner Experience : An Abbreviated Review for Educational Practitioners. *AACE Journal*. 2008, 16, 4, s. 425-439. Dostupný také z WWW: <<http://www.uh.cu/static/documents/TD/Cognitive Load Theory.pdf>>. ISSN 1551-3696.
- [6] BALOGH, Tibor; KOVÁCS, Péter Tamás. *Osiris project* [online]. 2010 [cit. 2011-07-26]. Real-time 3D light field transmission. Dostupné z WWW: <<http://www.osiris-project.eu/presentations.php>>.
- [7] BARAN, Ludvík, et al. *Film a filmová technika*. Vydání první. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1974. 356 s.
- [8] BENEŠ, Bedřich; FELKEL, Petr. *Vizualizace*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1997. 197 s. ISBN 80-01-01582-3.
- [9] BLANCHE, Pierre-Alexandre, et al. An Updatable Holographic Display for 3D Visualization. *Journal of display technology*. 2008, 4, 4, s. 424-430. Dostupný také z WWW: <[http://www.optics.arizona.edu/pablanche/images/Articles/0812\\_Blanche\\_IEEE4.pdf](http://www.optics.arizona.edu/pablanche/images/Articles/0812_Blanche_IEEE4.pdf)> ISSN 1558-9323.

- [10] BROOKS, Lee. Spatial and verbal components of the act of recall. *Canadian Journal of Psychology*. 1968, Vol. 22, No. 5, s. 349–368.
- [11] BRUKNER, Jan. Cinema 4D Tutorial: Jak na 3D lentikulární obrazy. *Grafika.cz* [online]. 2007, [cit. 2011-08-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.grafika.cz/art/3d/C4D-lenticular-picts-tut.html>>. ISSN 1212-9569.
- [12] BYRNE, Christine M. *Water on Tap: The Use of Virtual Reality as an Educational Tool* [online]. Washington : University of Washington, 1996. 0 s. Dizertační práce. University of Washington. Dostupné z WWW: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/dissertations/Byrne/home.html>>.
- [13] COHEN, Cheryl A.; HEGARTY, Mary. Sources of Difficulty in Imagining Cross Sections of 3D Objects. In *Proceedings of the 29th Annual Conference of the Cognitive Science Society*. Nashville : [s.n.], 2007. s. 179-184. Dostupné z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.127.6707&rep=rep1&type=pdf>>. ISBN 0-9768318-3-X.
- [14] COLLINS, Allan M.; QUILLIAN, Ross M. Retrieval time from semantic memory. *Journal of verbal learning and verbal behavior*. 1969, Vol. 8, No. 2, s. 240–247. Dostupný také z WWW: <<http://leadserv.u-bourgogne.fr/~yannick/PDF/Article/Collins1969>>.
- [15] DOLEŽAL, Jiří. *Základy geometrie a Geometrie* [online]. Ostrava : VŠB-TU, 2007 [cit. 2011-09-11]. Geometrická zobrazení v rovině. Dostupné z WWW: <<http://mdg.vsb.cz/jdolezal/StudOpory/ZakladyGeometrie/Planimetrie/GeometrickaZobrazeni/GeometrickaZobrazeni.html>>.
- [16] DONOHUE, Susan K. *Spatial Abilities Research Overview* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2010 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <[http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial\\_ability\\_overview.pdf](http://www.tcnj.edu/~sdonohue/spatial_ability_overview.pdf)>.
- [17] ESPARRACHIARI, Silvia, et al VRCOPE: A Virtual Reality Learning Tool for Electrophysiology. In *VRCOPE: A Virtual Reality Learning Tool for Electrophysiology* [online]. Brazíle : [s.n.], 2006 [cit. 2010-07-27]. Dostupné z WWW: <[http://www.tidia.fapesp.br/portal/eventos/folder.2006-06-21.4513988865/14906.pdf/not\\_available\\_lang/view?set\\_language=en](http://www.tidia.fapesp.br/portal/eventos/folder.2006-06-21.4513988865/14906.pdf/not_available_lang/view?set_language=en)>.
- [18] FARAH, Martha J. Is Visual Imagery Really Visual? : Overlooked Evidence From Neuropsychology. *Psychological Review*. 1988, Vol. 95, No. 3, s. 307-317. Dostupný také z WWW: <<http://www.linguistics.pomona.edu/lcs11fall04/readings/farah1988.pdf>>. ISSN 0033-295X.

- [19] FAVALORA, Gregg E. Volumetric 3D Displays and Application Infrastructure. *Computer*. 2005, 38, 8, s. 37-44. Dostupný také z WWW: <<http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/VolIEEEComp2005.pdf>>.
- [20] FENG, Jing; SPENCE, Ian ; PRATT, Jay Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition. In *Psychological Science*. [s.l.] : [s.n.], 2007. s. 850 – 855. ISSN 1467-9280.
- [21] FRODLOVÁ, Tereza. *Za hranicí filmového plátna : Výzkum, předvádění a reflexe stereoskopického filmu v Československu (1949-1955)*. Brno, 2009. 81 s. Bakalářská práce. Masarykova univerzita, Filozofická fakulta. Dostupné z WWW: <[is.muni.cz/th/231696/ff\\_b/Frodlova\\_Za\\_hranici\\_filmoveho\\_platna.doc](http://is.muni.cz/th/231696/ff_b/Frodlova_Za_hranici_filmoveho_platna.doc)>.
- [22] FURNESS, Thomas A; WINN, William ; YU, Rose. *Human Interface Technology Lab* [online]. 1998 [cit. 2011-06-19]. The Impact of Three Dimensional Immersive Virtual Environments on Modern Pedagogy. Dostupné z WWW: <<http://www.hitl.washington.edu/publications/r-97-32/>>.
- [23] GENTNER, Dedre; STEVENS, Albert L. *Mental models*. Hillsdale : Erlbaum, 1983. 354 s. Dostupné z WWW: <<http://www.questia.com/PM.qst?a=o&d=55455342>>. ISBN 0898592429.
- [24] GESCHWINDER, Jan. *Metodika využití materiálních didaktických prostředků*. 1. vyd. Praha : SPN, 1987. 262 s.
- [25] GÓRSKA, Renata A. Spatial Imagination an Overview of the Longitudinal Research at Cracow University of Technology. *Journal for Geometry and Graphics*. 2005, 9, s. 201-208. Dostupný také z WWW: <<http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg09/j9h2gors.pdf>>. ISSN 1433-8157.
- [26] GROSSMAN, Tovi; BALAKRISHNAN, Ravin. Collaborative Interaction with Volumetric Displays. In *CHI 2008 Proceedings*. Florence : [s.n.], 2008. s. 383-392. Dostupné z WWW: <[http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008\\_collaborativevolumetric.pdf](http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008_collaborativevolumetric.pdf)>. ISBN 978-1-60558-011-1.
- [27] HÄKKINEN, Jukka, et al. Simulator Sickness in Virtual Display Gaming : A Comparison of Stereoscopic and Non-stereoscopic Situations. In *MobileHCI 06 : Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services*. New York : ACM, 2006. s. 227-229. Dostupné z WWW:

- <<http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/jukka.hakkinen/ref-26/p227-hakkinen.pdf>>. ISBN 1-59593-390-5.
- [28] HASMANDA, Martin. *Zpracování stereoskopické videosekvence*. Brno, 2010. 57 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Dostupné z WWW: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=28445](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=28445)>.
- [29] HAUSMANN, Markus, et al. Sex Hormones Affect Spatial Abilities During the Menstrual Cycle. *Behavioral Neuroscience*. 2000, 114, s. 1245-1250. Dostupný také z WWW: <<http://www.bio.psy.ruhr-uni-bochum.de/papers/CycleMRTmh.pdf>>. ISSN 0735-7044.
- [30] HAYES, John. You see them WITH glasses : A Short History of 3D Movies. In *Wide Screen Movies Magazine* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2002, 14 January, 2011 [cit. 2011-08-11]. Dostupné z WWW: <<http://widescreenmovies.org/WSM11/3D.htm>>.
- [31] HAYES, R. M. *3-D Movies : A History and Filmography of Stereoscopic Cinema*. 1st ed. Chicago : London McFarland & Company, 1998. 414 s. ISBN 0786405783.
- [32] HOLLIMAN, Nick. *Handbook of Opto-electronics*. [s.l.] : IOP Press, 2004. 3D Display Systems, s. 45. Dostupné z WWW: <<http://www.dur.ac.uk/n.s.holliman/Presentations/3dv3-0.pdf>>. ISBN 0-7503-0646-7.
- [33] HOSKOVEC, Jiří; NAKONEČNÝ, Milan; SEDLÁKOVÁ, Miluše. *Psychologie XX. století I.*. Praha : Karolinum, 1999. 295 s. ISBN 80-7066-714-1.
- [34] HUNT, Morton. *Dějiny psychologie*. Praha : Portál, 2000. 710 s. ISBN 80-7367-175-1.
- [35] HYKŠ, Oldřich. *Zrod a užití lineární perspektivy v malířství* [online]. 2005 [cit. 2011-09-12]. Předrenesanční zobrazování prostoru. Dostupné z WWW: <[http://euler.fd.cvut.cz/predmety/geometrie/lp\\_malirstvi/](http://euler.fd.cvut.cz/predmety/geometrie/lp_malirstvi/)>.
- [36] CHEN, Chwen Jen. Are Spatial Visualization Abilities Relevant to Virtual Reality?. *E-Journal of Instructional Science and Technology* [online]. 2006, Vol. 9, No. 2, [cit. 2011-09-14]. Dostupný z WWW: <<http://eric.ed.gov/PDFS/EJ846719.pdf>>. ISSN 1324-0781.
- [37] CHRÁSKA, Miroslav. *Metody pedagogického výzkumu : Základy kvantitativního výzkumu*. 1. Praha : Grada Publishing, a. s., 2007. 272 s. ISBN 978-80-247-1369-4.
- [38] CHUN, Won-Suk, et al. Spatial 3-D Infrastructure : Display-Independent Software Framework, High-Speed Rendering Electronics, and Several New Displays. In *Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XII*. [s.l.] : SPIE, 2005. s. 302-312. Dostupné z WWW: <[http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality\\_SPIE\\_2005\\_Chun\\_et\\_al.pdf](http://www.actuality-medical.com/site/content/pdf/Actuality_SPIE_2005_Chun_et_al.pdf)>. ISBN 9780819456373.



- [39] IERONUTTI, Lucio; CHITTARO, Luca. Employing virtual humans for education and training in X3D/VRML worlds. *Computers & Education* [online]. 2007, Vol. 49, Issue 1, [cit. 2011-09-02]. Dostupný z WWW: <[http://hclab.uniud.it/publications/2004-13/EmployingVirtualHumans\\_LET-WEB3D04.pdf](http://hclab.uniud.it/publications/2004-13/EmployingVirtualHumans_LET-WEB3D04.pdf)>. ISSN 0360-1315.
- [40] JACOBS, Adrian, et al. *Sharp* [online]. 2003 [cit. 2011-08-01]. 2D/3D Switchable Displays. Dostupné z WWW: <<http://sharp-world.com/corporate/info/rd/tj4/pdf/4.pdf>>.
- [41] JAVIDI, Giti. *EME7938* [online]. 1999 [cit. 2011-08-08]. Virtual Reality and Education. Dostupné z WWW: <<http://www.coedu.usf.edu/itphdsem/eme7938/gj899.pdf>>.
- [42] JOHNSON-LAIRD, Philip N. *Mental models : Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. 6th. Cambridge : Harvard University Press, 1983. 513 s. Dostupné z WWW: <<http://www.google.com/books?id=FS3zSKAfLGMC&printsec=frontcover&hl=cs#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 0674568826.
- [43] JOHNSON-LAIRD, Philip N.; SCHAEKEN, Walter; BYRNE, Ruth M. J. Prepositional Reasoning by Model. *Psychological Review*. 1992, Vol. 99, No. 3, s. 418-439. Dostupný také z WWW: <<http://mentalmodels.princeton.edu/papers/1992propreason.pdf>>. ISSN 0033-295X.
- [44] JONES, Andrew, et al. Rendering for an Interactive 360° Light Field Display. In *Proceedings SIGGRAPH 2007*. New York : ACM, 2007. s. 10. Dostupné z WWW: <[http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay\\_USCICT\\_SIGGRAPH2007.pdf](http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/3DDisplay_USCICT_SIGGRAPH2007.pdf)>.
- [45] JUDELMAN, Gregory Brian. *Knowledge Visualization : Problems and Principles for Mapping the Knowledge Space* [online]. [s.l.], 2004. 175 s. Dizertační práce. University of Lübeck. Dostupné z WWW: <<http://www.gregjudelman.com/media/judelmanThesis2004.pdf>>.
- [46] KATZ, Jerrold J.; FODOR, Jerry A. The Structure of a Semantic Theory. *Language*. 1963, Vol. 39, No. 2, s. 170-210. Dostupný také z WWW: <<http://staff.um.edu.mt/albert.gatt/home/teaching/dl/KatzFodor63.pdf>>.
- [47] KAUFMAN, Scott Barry. Sex differences in mental rotation and spatial visualization ability : Can they be accounted for by differences in working memory capacity?. *Intelligence*. 2007, 35, 3, s. 211-223. Dostupný také z WWW: <<http://scottbarrykaufman.com/wp-content/uploads/2011/06/Kaufman-2007.pdf>>. ISSN 0160-2896.

- [48] KAUFMANN, Hannes. *Geometry Education with Augmented Reality* [online]. Vídeň, 2004. 169 s. Dizertační práce. Vienna University of Technology. Dostupné z WWW: <[http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/kaufmann\\_diss.pdf](http://www.ims.tuwien.ac.at/media/documents/publications/kaufmann_diss.pdf)>.
- [49] KOSARA, Robert. Visualization Criticism – The Missing Link Between Information Visualization and Art. In *Information Visualization (IV)*. [s.l.] : IEEE CS Press, 2007. s. 631-636. Dostupné z WWW: <[http://kosara.net/papers/Kosara\\_IV\\_2007.pdf](http://kosara.net/papers/Kosara_IV_2007.pdf)>.
- [50] KOUBA, Luděk. *Technické systémy ve výuce II.* 1. vyd. Praha : Karolinum, 1995. 104 s. ISBN 80-7066-898-9.
- [51] KUBOVY, Michael; TYLER, Christopher. *Psychology of perspective and renaissance art* [online]. 2006 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.webexhibits.org/arrowintheeye/index.html>>.
- [52] LANGHANS, Knut, et al. SOLID FELIX : A Static Volume 3D-Laser Display. In *Proceedings of SPIE : Stereoscopic Displays and Applications XIV*. Santa Clara, CA : SPIE, 2003. s. 14. Dostupné z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.5.9139&rep=rep1&type=pdf>>.
- [53] LANGMEIER, Josef; KREJČÍŘOVÁ, Dana. *Vývojová psychologie*. 3. vyd. Praha : Grada publishing, spol. s r. o., 1998. 343 s. ISBN 80-7169-195-X.
- [54] LANMAN, Douglas, et al. Content-Adaptive Parallax Barriers: Optimizing Dual-Layer 3D Displays using Low-Rank Light Field Factorization. *Proc. of SIGGRAPH Asia 2010*. 2010, Vol. 29, Issue 6, s. 163:1-163:10. Dostupný také z WWW: <<http://web.media.mit.edu/~mhirsch/hr3d/content-adaptive-lowres.pdf>>. ISSN 0730-0301.
- [55] LEOPOLD, Cornelia; GÓRSKA, Renata A.; SORBY, Sheryl A. International Experiences in Developing the Spatial Visualization Abilities of Engineering Students. In *Journal of Geometrics and Graphics*. Volume 5, No.1. [s.l.] : [s.n.], 2001. s. 81-91. Dostupné z WWW: <[http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg01\\_05/jgg0509.pdf](http://www.heldermann-verlag.de/jgg/jgg01_05/jgg0509.pdf)>.
- [56] LEVOY, Marc; SHADE, Jonathan. *Stanford Computer Graphics Laboratory* [online]. 29.5.1999 [cit. 2011-08-08]. A light field of Michelangelo. Dostupné z WWW: <<http://graphics.stanford.edu/projects/mich/lightfield-of-night/>>.
- [57] LIEU, Dennis Kenmon; SORBY, Sheryl Ann. *Visualization, modeling, and graphics for engineering design*. [s.l.] : Delmar, 2009. 1088 s. ISBN 978-1-4018-4249-9.

- [58] LINDQUIST, Everett Franklin. *Statistická analýza v pedagogickém výzkumu..* Praha : SPN, 1967. 264 s.
- [59] LINN, Marcia C.; PETERSEN, Anne C. Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis. *Child Development*. 1985, 56, 6, s. 1479-1498.
- [60] LIPPMANN, Gabriel. Photography : Reversible Prints. Integral Photographs.. In DURAND, Frédo. *Academy of the Sciences Session*. [s.l.] : [s.n.], 1908. s. 4.
- [61] MALÍŠEK, Vladimír. *4oci.cz* [online]. 28.1.2009 [cit. 2011-09-07]. Alhazen – optik tisíciletí. Dostupné z WWW: <[http://www.4oci.cz/alhazen-optik-tisicileti\\_4c49](http://www.4oci.cz/alhazen-optik-tisicileti_4c49)>.
- [62] MARCHESE, Francis T. *Francis T. Marchese Personal Site* [online]. 2010 [cit. 2011-09-11]. Virtual Reality. Dostupné z WWW: <<http://csis.pace.edu/~marchese/DPS/Lect2/I2.html>>.
- [63] MAŘÍK, Vladimír; ŠTĚPÁNKOVÁ, Olga; LAŽANSKÝ, Jiří. *Umělá inteligence*. Praha : Academia, 2003. 470 s. ISBN 80-200-0472-6.
- [64] MATUŠKA, Jiří. Pedagogicko psychologické aspekty využití MDP ve výchovně vzdělávacím procesu. In LUDĚK, Kouba. *Didaktická a výpočetní technika I..* Praha : Univerzita Karlova, 1998. s. 22-46.
- [65] MCALLISTER, David F. *Encyclopedia of Imaging Science and Technology*. New York : Wiley and Sons, 2000. Display Technology: Stereo & 3D Display Technologies, s. 50. Dostupné z WWW: <<http://research.csc.ncsu.edu/stereographics/wiley.pdf>>. ISBN 9780471443391.
- [66] MILGRAM, Paul; KISHINO, Fumio. A taxonomy of mixed reality Visual displays. *IEICE Transactions on Information Systems*. December 1994, Vol. E77-D, No.12, s. 15. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.102.4646&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 09168532.
- [67] MILLER, George A. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*. 1994, 101, 2, s. 343-352. Dostupný také z WWW: <[http://www.psych.utoronto.ca/users/peterson/psy430s2001/Miller GA Magical Seven Psych Review 1955.pdf](http://www.psych.utoronto.ca/users/peterson/psy430s2001/Miller%20GA%20Magical%20Seven%20Psych%20Review%201955.pdf)>. ISSN 0033-295X.
- [68] NAKONEČNÝ, Milan. *Psychologie osobnosti*. Vyd. 2. Praha : Academia, 1997. 336 s. ISBN 80-200-0628-1.

- [69] NĚMEČEK, Miroslav, et al. *Stručný slovník didaktické techniky a učebních pomůcek*. Praha : [s.n.], 1985. 134 s.
- [70] NÉMETH, Brigitta; HOFFMANN, Miklós Gender differences in spatial visualization among engineering students. In *Annales Mathematicae et Informaticae* 33 (2006). Hungaria, Eger : [s.n.], 2006. s. 169–174. Dostupné z WWW: <emis.bibl.cwi.nl/journals/AMI/2006/nemeth.pdf>.
- [71] NIKL, Jiří. *Technické výukové prostředky*. Hradec Králové : KfY PF UHK, 2002. 61 s. ISBN 80-7083-635-0.
- [72] O'SHEA, Robert P.; BLAKE, Randolph. Depth without disparity in random-dot stereograms. *Attention, Perception & Psychophysics*. 1987, 42, 3, s. 205-214. Dostupný také z WWW: <<http://www.springerlink.com/content/y386242058046663>>.
- [73] ODVÁRKO, Oldřich; KADLEČEK, Jiří. *Matematika pro 8. ročník základní školy, 3. díl*. 1. vydání. Praha : Prometheus, 2000. 79 s. ISBN 80-7196-183-3.
- [74] PAIVIO, Allan. Mental imagery in associative learning and memory. *Psychological Review*. 1969, Vol. 76, No. 3, s. 241-263.
- [75] PALOUŠ, Radim. *Didaktika technických výukových zařízení*. Praha : KPÚ, 1969. s.
- [76] PECKA, Karel; MATĚJČEK, Jiří. *Využití stereoskopie ve vyučování*. 1. vydání. Praha : SPN, 1982. 50 s. 17-563-82.
- [77] PELIKÁN, Jiří. *Základy empirického výzkumu pedagogických jevů*. Praha : Karolinum, 1998. 270 s. ISBN 80-7184-569-8.
- [78] PHILLIPS, Del. *A Visual History of the Stereoscope* [online]. 2006 [cit. 2011-08-03]. Dostupné z WWW: <<http://home.centurytel.net/s3dcor/>>.
- [79] PROKÝŠEK, Miloš Prostorové zobrazování – technologie. In *Nové technologie ve výuce, 3. ročník : Sborník abstraktů a elektronických verzí příspěvků*. Ing. Jiří Hrbáček, Ph.D. Brno : MSD, spol. s r. o., 2009. s. 4. ISBN 978-80-210-5092-1.
- [80] PRŮCHA, Jan. *Moderní pedagogika : věda o edukačních procesech*. 1. vydání. Praha : Portál, 1997. 496 s. ISBN 80-7178-170-3.
- [81] PRŮCHA, Jan; WALTEROVÁ, Eliška ; MAREŠ, Jiří. *Pedagogický slovník*. 4., aktualiz. vyd. Praha : Portál, 2003. 322 s. ISBN 80-7178-772-8.
- [82] RÁDL, Zdeněk. *Výskum a vývoj materiálnych didaktických prostriedkov pre základné a stredné školy : Zborník (4.diel)*. Vyd. 1. Bratislava : SPN, 1984. 104 s.
- [83] RAMBOUSEK, Vladimír, et al. *Technické výukové prostředky*. 1. vyd. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, 1989. 302 s.

- [84] ROGERS, Brian; GRAHAM, Maureen. Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision research*. 1982, Vol. 22, No. 2, s. 261-270. Dostupný také z WWW: <[http://wexhttp://wexler.free.fr/library/files/rogers \(1982\) similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception.pdf](http://wexhttp://wexler.free.fr/library/files/rogers%20(1982)%20similarities%20between%20motion%20parallax%20and%20stereopsis%20in%20human%20depth%20perception.pdf)>. ISSN 0042-6989.
- [85] ROUSSOU, Maria. Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education. *Foundation of the Hellenic World* [online]. 2007, Vol. 5, [cit. 2011-06-23]. Dostupný z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.2700&rep=rep1&type=pdf>>.
- [86] ROUSSOU, Marria. Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum. *Proc. of TiLE (Trends in Leisure Entertainment* [online]. 2001, [cit. 2011-09-11]. Dostupný z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=6A740F789EEB419492FB43A9E7247D9D?doi=10.1.1.8.6469&rep=rep1&type=pdf>>.
- [87] RUMELHART, David E.; ORTONY, Andrew. *The representation of knowledge in memory*. San Diego : Center for Human Information Processing, Dept. of Psychology, University of California, 1976. 61 s.
- [88] ŘÍHA, Daniel. 3-D multi-uživatelské rozhraní a podpora kolaborativního učení. In *Konference BELCOM 2003*. Praha : [s.n.], 2003. s. 7. Dostupné z WWW: <Konference BELCOM 2003, Praha>.
- [89] ŘÍHA, Daniel. Komunikace myšlenkových map v 3-d sdíleném prostředí. In *Alternativní metody výuky*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2007. s. 7. Dostupné z WWW: <[everest.natur.cuni.cz/konference/2007/prispevek/riha.pdf](http://everest.natur.cuni.cz/konference/2007/prispevek/riha.pdf)>. ISBN 978-80-7041-129-2.
- [90] SANTOS, Ricardo J.T. *Scaling of Rendered Stereoscopic Scenes* [online]. Plzeň, 2005. 67 s. Referát. Západočeská univerzita v Plzni. Dostupné z WWW: <<http://herakles.zcu.cz/research/projects/15/StereoScaling.pdf>>.
- [91] SEDLÁKOVÁ, Miluše. *Vybrané kapitoly z kognitivní psychologie : Mentální reprezentace a mentální modely*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, 2004. 252 s. ISBN 80-247-0375-0.
- [92] SEFFERS, George I. Virtual Humans Keep It Real. *SIGNAL Magazine* [online]. June 2011, [cit. 2011-08-10]. Dostupný z WWW: <[http://www.afcea.org/signal/articles/templates/Signal\\_Article\\_Template.asp?articleid=2625&zoneid=285](http://www.afcea.org/signal/articles/templates/Signal_Article_Template.asp?articleid=2625&zoneid=285)>.

- [93] SEKULER, Robert; BLAKE, Randolph. *Perception*. 2nd edition. [s.l.] : McGraw Hill Inc., 1990. 519 s.
- [94] SHEPARD, Roger N.; METZLER, Jacqueline. Mental Rotation of Three-Dimensional Objects. *Science*. 1971, Vol. 171, No. 3972, s. 701-703. Dostupný také z WWW: <<http://www.cs.virginia.edu/cs150/ps/ps3/mental-rotation.pdf>>. ISSN 0036-8075.
- [95] SCHANK, Roger C.; ABELSON, Robert P. *Scripts, Plans, Goals and Understanding : An Inquiry into Human Knowledge Structures*. Hillsdale : Erlbaum, 1977. s. ISBN 0-470-99033-3.
- [96] SCHNABEL, Marc A.; KVAN, Thomas. Spatial understanding in immersive virtual environments. *International Journal of Architectural Computing*. 2003, 1, 3, s. 435-448. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.114.4578&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 1478-0771.
- [97] SKALKOVÁ, Jarmila, et al. *Úvod do metodologie a metod pedagogického výzkumu*. 1. Praha : SPN, 1983. 208 s.
- [98] SKALKOVÁ, Jarmila. *Obecná didaktika : 2., rozšířené a aktualizované vydání*. Dotisk 1.,. Praha : Grada Publishing, a.s., 2008. 322 s. ISBN 978-80-247-1821-7.
- [99] SLINGER, Chris; CAMERON, Colin; STANLEY, Maurice. Computer-Generated Holography as a Generic Display Technology. *Computer*. 2005, 38, 8, s. 46-53. Dostupný také z WWW: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.169.7986&rep=rep1&type=pdf>>. ISSN 0018-9162.
- [100] SMITH, Mark K. *The encyclopedia of informal education* [online]. 2008 [cit. 2011-07-27]. Howard Gardner and multiple intelligences. Dostupné z WWW: <<http://www.infed.org/thinkers/gardner.htm>>.
- [101] SOKOL, John L. *Video technology Blog* [online]. June 03, 2009 [cit. 2011-08-03]. Dolby 3D Digital Cinema. Dostupné z WWW: <<http://videotechnology.blogspot.com/2009/06/dolby-3d-digital-cinema.html>>.
- [102] SORBY, Sheryl A. Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australasian Journal of Engineering Education* [online]. 2007, Vol. 13, No. 1, [cit. 2011-09-23]. Dostupný z WWW: <[http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE\\_13\\_1\\_Sorby.pdf](http://www.engineersmedia.com.au/journals/aaee/pdf/AJEE_13_1_Sorby.pdf)>. ISSN 1324-5821.

- [103] SORBY, Sheryl A. Developing 3-D Spatial Visualization Skills. *Engineering Design Graphic Journal*. 1999, vol. 63, no. 2, s. 21-32. Dostupný také z WWW: <<http://www.edgj.org/index.php/EDGJ/article/viewFile/126/122>>. ISSN 1949-9167.
- [104] STAPLES, Shelley. *American Studies (University of Virginia)* [online]. 2002 [cit. 2011-08-03]. The Stereoscope in America. Dostupné z WWW: <<http://xroads.virginia.edu/~MA03/staples/stereo/home.html>>.
- [105] STERNBERG, Robert J. *Kognitivní psychologie : Cognitive psychology*. Z angl. orig. přel. František Koukolík. Praha : Portál, 2002. 632 s. ISBN 80-7178-376-5.
- [106] SULLIVAN, Alan. A Solid-state Multi-planar Volumetric Display", *SID Symposium Digest of Technical Papers*, May 2003, Volume 34, Issue 1, pp. 1531-1533. In *SID Symposium Digest of Technical Papers*. [s.l.] : SID, 2003. s. pp. 1531-1533. Dostupné z WWW: <[http://www.loreti.it/Download/PDF/3D/Solid\\_state\\_multiplanar3D58\\_03.pdf](http://www.loreti.it/Download/PDF/3D/Solid_state_multiplanar3D58_03.pdf)>. ISSN 0003-0966X.
- [107] SWELLER, John; MERRIENBOER, Jeroen J. G.; PAAS, Fred G. W. C. Cognitive architecture and instructional design. *Educational psychology review*. 1998, vol. 10, no. 3, s. 251-296. Dostupný také z WWW: <[http://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller van Merrienboer and Pass 1998.pdf](http://www.csuchico.edu/~nschwartz/Sweller%20van%20Merrienboer%20and%20Pass%201998.pdf)>. ISSN 1040-726X.
- [108] ŠIKL, Radovan. *Psychologický ústav AV ČR Brno* [online]. 2005 [cit. 2011-09-11]. Studium vnímání v historické perspektivě. Dostupné z WWW: <<http://www.psu.cas.cz/~sikl/dejiny.html>>.
- [109] TAKAHASHI, Hideya; FUJINAMI, Hiromitsu; YAMADA, Kenji. *SPIE* [online]. 2006 [cit. 2011-09-03]. Holographic lens array increases the viewing angle of 3D displays. Dostupné z WWW: <<http://spie.org/x8756.xml?ArticleID=x8756>>.
- [110] TAMBORINI, Ron; SKALSKI, Paul. *Playing video games : motives, responses, and consequences*. [s.l.] : Routledge, 2006. The Role of Presence in the Experience of Electronic Games, s. 225-240. Dostupné z WWW: <<http://ocw.metu.edu.tr/file.php/85/ceit706/week6/Tamborini&Skalski.PDF>>. ISBN 0805853227.
- [111] THAGARD, Paul. *Úvod do kognitivní vědy : mysl a myšlení*. 1. vyd. Praha : Portál, 2001. 232 s. ISBN 80-7178-445-1.
- [112] TOMCZAK, Leonard. Application Of Marine Engine Room Simulators With 3d Visualization In The Training Process Of Emergency Operating Procedures. *Journal of*

- POLISH CIMAC. 2009, vol. 4, no. 2, s. 10. Dostupný také z WWW:  
<<http://www.polishcimac.pl/Papers2/2009/036.pdf>>. ISSN 1231–3998.
- [113] TORY, Melanie; MÖLLER, Torsten. Rethinking Visualization: A High-Level Taxonomy. In *IEEE Symposium on Information Visualization 2004*. Austin, TX : [s.n.], 2004. s. 151 - 158. Dostupné z WWW:  
<<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.94.2968&rep=rep1&type=pdf>>. ISBN 0-7803-8779-3, ISSN 1522-404X.
- [114] TŮMA, Jan, et al. *Moderní technické prostředky ve výuce*. Praha : SPN, 1974. 459 s.
- [115] VAN RENESSE, Ruud. *Steve Benton : A pioneer of holography* [online]. [s.l.] : [s.n.], 2007 [cit. 2011-07-23]. Dostupné z WWW: <[www.vanrenesse-consulting.com](http://www.vanrenesse-consulting.com)>.
- [116] VAN WAGONER, Steve. *Celebration! Cinema* [online]. April 20, 2010 [cit. 2011-08-12]. Digital IMAX Projection at Celebration! Cinema Lansing. Dostupné z WWW:  
<<http://celebrationcinema.wordpress.com/2010/04/20/digital-imax-projection-at-celebration-lansing/>>.
- [117] VORDERER, Peter; BRYANT, Jennings. *Playing video games : motives, responses, and consequences*. [s.l.] : Routledge, 2006. 480 s. Dostupné z WWW:  
<<http://books.google.cz/books?id=wIX9wjhpPOYC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>>. ISBN 0805853227.
- [118] VOSNIADOU, Stella; BREWER, William F. Mental Models of the Earth : A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cognitive psychology*. 1992, 24, s. 535-585. Dostupný také z WWW: <<http://calteach.ucsc.edu/aboutus/documents/vosniadoubrewer-mentalmodels.pdf>>.
- [119] VOYER, Daniel; VOYER, Susan; BRYDEN, Mark Philip. Magnitude of Sex Differences in Spatial Abilities : A Meta-Analysis and Consideration of Critical Variables. *Psychological Bulletin*. 1995, 117, 2, s. 250–270.
- [120] WEBB, Rose Mary; LUBINSKI, David; BENBOW, Camilla Persson. Spatial Ability: A Neglected Dimension in Talent Searches for Intellectually Precocious Youth. *Journal of Educational Psychology*. 2007, vol. 99, 2, s. 397–420. Dostupný také z WWW:  
<<http://www.appstate.edu/~webbrm/jep2007.pdf>>. ISSN 0022-0663.
- [121] WEI, Min; DEANGELIS, Gregory C.; ANGELAKI, Dora E. Do Visual Cues Contribute to the Neural Estimate of Viewing Distance Used by the Oculomotor System?. *The Journal of Neuroscience* [online]. September 10, 2003, 23, 23, [cit. 2011-06-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.jneurosci.org/content/23/23/8340.full.pdf>>. ISSN 1529-2401.



- [122] WILBURN, Bennett, et al. High Performance Imaging Using Large Camera Arrays. In GROSS, Markus. *ACM SIGGRAPH 2005 Papers*. New York : ACM, 2005. s. 765-776. Dostupné z WWW: <[http://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray\\_Sig05.pdf](http://graphics.stanford.edu/papers/CameraArray/CameraArray_Sig05.pdf)>.
- [123] WINN, William. The Virtual Reality Roving Vehicle Project. *T.H.E. Journal*. 1995, Vol. 23, No. 5
- [124] YOUNGBLUT, Christine. *Educational Uses of Virtual Reality Technology* [online]. Alexandria (Virginia, USA) : [s.n.], 1998 [cit. 2011-09-14]. Dostupné z WWW: <[www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf](http://www.hitl.washington.edu/scivw/youngblut-edvr/D2128.pdf)>.
- [125] ZÁKOSTELNÁ, Barbora; ŠULCOVÁ, Renata. Srovnávací průzkum využití ICT v přírodovědném vzdělávání na ZŠ a SŠ. In *Alternativní metody výuky 2011*. Hradec Králové : Gaudeamus, 2011. s. 6. Dostupné z WWW: <[http://everest.natur.cuni.cz/konference/2011/prispevek/zakostelna\\_prispevek.pdf](http://everest.natur.cuni.cz/konference/2011/prispevek/zakostelna_prispevek.pdf)>. ISBN 978-80-7435-104-4.
- [126] ŽÁRA, Jiří; BENEŠ, Bedřich; SOCHR, Jiří. *Moderní počítačová grafika*. 2., přeprac. a rozš. vyd. Praha : Computer Press, 2004. 609 s. ISBN 80-251-0454-0.
- [127] *3D kina* [online]. 2011 [cit. 2011-09-12]. 3D systémy v českých kinech. Dostupné z WWW: <<http://www.3dkina.cz/3d-systemy-v-ceskych-kinech>>.
- [128] *Actuality Systems* [online]. 2005 [cit. 2011-08-02]. Perspecta Display 1.9. Dostupné z WWW: <[http://www.actuality-medical.com/site/content/perspecta\\_display1-9.html](http://www.actuality-medical.com/site/content/perspecta_display1-9.html)>.
- [129] Encyclopædia Britannica, Inc. *Encyclopædia Britannica* [online]. [s.l.] : Encyclopædia Britannica, Inc., 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.britannica.com/>>. ISBN 1-59339-292-3.
- [130] *IMAX* [online]. 2011 [cit. 2011-08-12]. Corporate Overview. Dostupné z WWW: <<http://www.imax.com/corporate/>>.
- [131] *Light Space Technologies : FAQ: How It Works?* [online]. 2006 [cit. 2011-08-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.lightspacetechnology.com>>.
- [132] *Multimediální kurz aplikované vyšší matematiky* [online]. Ostrava : 2002 [cit. 2011-09-11]. Zobrazení. Dostupné z WWW: <<http://artemis.osu.cz/mmmat/>>.
- [133] *Nvidia 3D Vision* [online]. 2011 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.nvidia.com/object/3d-vision-main.html>>.
- [134] *Slovník spisovné češtiny pro školu a veřejnost*. Vydání 2., opravené a doplněné. Praha : Academia, 2001. 647 s. ISBN 80-200-0493-9.

- [135] *Spatial Intelligence and Learning Center* [online]. 2008 [cit. 2011-09-12]. Dostupné z WWW: <<http://spatiallearning.org>>.
- [136] *The American Heritage® Dictionary of the English Language* [online]. Fourth Edition. [s.l.] : Houghton Mifflin Company, 2000, 2009 [cit. 2011-09-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.thefreedictionary.com>>.
- [137] *The National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* [online]. 2006 [cit. 2011-09-03]. Three Dimensional Images in the Air. Dostupné z WWW: <[http://www.aist.go.jp/aist\\_e/latest\\_research/2006/20060210/20060210.html](http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2006/20060210/20060210.html)>.
- [138] *Zebra Imaging* [online]. 2010 [cit. 2011-09-11]. Hlographics Imagers. Dostupné z WWW: <<http://www.zebraimaging.com/products/holographic-imagers>>.

## 7 Seznam obrázků

Obrázek 1 Model vizualizace podle Kosary (upraveno) .....	21
Obrázek 2 Diagram procesu vytváření zobrazení .....	22
Obrázek 3 Vnímání hloubky prostoru podle Sekulera (upraveno) .....	24
Obrázek 4 Osy percepčních charakteristik prostorového zobrazování .....	35
Obrázek 5 Rozdílné obrazy vnímané levým a pravým okem .....	42
Obrázek 6 Vergence očí při paralaktickém zobrazení .....	43
Obrázek 7 Původní Wheatstonův reflexní stereoskop .....	44
Obrázek 8 Improvizovaný stereoskop za použití zrcadla a vhodný stereogram.....	45
Obrázek 9 HMD .....	46
Obrázek 10 Anaglyfové brýle, červeno-azurové a filtrace barev zobrazení .....	47
Obrázek 11 Infitec color shift – spektrální charakteristika filtrů Infitec .....	48
Obrázek 12 Profil ChromaDepth fólie .....	50
Obrázek 13 Obraz pro sledování pomocí Chromadepth brýlí.....	49
Obrázek 14 Schematické znázornění filtrace polarizačními filtry .....	51
Obrázek 15 Kruhová polarizace.....	52
Obrázek 16 Princip aktivní stereoprojekce .....	53
Obrázek 17 Jedna z možných konfigurací CAVEa práce v CAVE .....	54
Obrázek 18 Vznik pohledových čtyřúhelníků (pohled shora) .....	55
Obrázek 19 Autostereoskopický monitor s lentikulární vrstvou.....	56
Obrázek 20 Principiální schéma optické bariéry (upraveno) .....	57
Obrázek 21 Systém podsvícení DTI .....	58
Obrázek 22 Schéma zobrazovací části Perspecta displeje .....	60
Obrázek 23 Schéma displeje DepthCube .....	61
Obrázek 24 Laserem vytvořené prostorové zobrazení .....	62
Obrázek 25 Princip HoloVizio systému a porovnání s běžným obrazem .....	63
Obrázek 26 Princip light field projekce HoloVizio .....	66
Obrázek 27 Schéma aparatury pro pořízení holografického snímku.....	67
Obrázek 28 Princip zobrazení holografického záznamu .....	68
Obrázek 29 Princip záznamu hogelu pomocí SLM .....	69
Obrázek 30 Klasifikace prostorových dovedností podle Tarterové .....	74

Obrázek 32 Model informačního toku podle Atkinsona a Shiffrina .....	85
Obrázek 33 Zástupná reprezentace třetího rozměru' .....	89
Obrázek 34 Ukázka otázky z testu MRT .....	109
Obrázek 35 Ukázka otázky z testu SBST .....	110

## 8 Seznam tabulek

Tabulka 1 Monokulární a binokulární vodítka podle Sternberga .....	26
Tabulka 2 Percepční charakteristiky prostředků prostorového zobrazování .....	71
Tabulka 3 Vlastnosti zobrazovaného modelu podle použité technologie .....	104
Tabulka 5 Částečný původní rozvrh experimentální třídy .....	108
Tabulka 4 Upravený rozvrh experimentální třídy .....	109
Tabulka 6 Srovnání výsledků chlapců a dívek v přípravné fázi experimentu.....	111
Tabulka 7 Výsledky žáků v testu MRT .....	112
Tabulka 8 Výsledky žáků v testu SBST .....	112
Tabulka 9 Studijní výsledky žáků sledované třídy .....	114
Tabulka 10 Korelační tabulka parametrů sledovaných v přípravné fázi experimentu .....	115
Tabulka 11 Kontrolní a experimentální skupina v přípravné fázi experimentu.....	116
Tabulka 12 Rozdíly ve složení experimentální a kontrolní skupiny.....	117
Tabulka 13 Struktura hodiny v experimentální a kontrolní skupině.....	119
Tabulka 14 Výsledky testu T1 - úlohy .....	121
Tabulka 15 Výsledky testu T2 - úlohy .....	121
Tabulka 16 Zkratky použité při vyhodnocování výsledků experimentu.....	124
Tabulka 18 Vyhodnocení didaktických výkonových testů (podvýběr LOMRT) .....	124
Tabulka 17 Vyhodnocení didaktických výkonových testů (podvýběr HIMRT) .....	125

## 9 Seznam grafů

Graf 1 Dlouhodobý výzkum CUT (upraveno) .....	77
Graf 2 Histogram rozložení výsledků testu MRT .....	111
Graf 3 Histogram rozložení výsledků testu SBST .....	113
Graf 4 Galtonova ogiva výsledků testu T1 (Kontrolní a experimentální) .....	122
Graf 5 Galtonova ogiva výsledků testu T2 (Kontrolní a experimentální) .....	122
Graf 6 Galtonova ogiva výsledků testu T3 (kontrolní a experimentální) .....	123
Graf 7 Histogram relativního rozložení výsledků v testu T1 .....	128
Graf 8 Histogram relativního rozložení výsledků v testu T3 .....	129

## 10 Přílohy

### A Zadání testu T1

#### Úloha 1

Jaký povrch má válec o průměru  $d = 40$  cm a výšce  $v = 60$  cm?

Body: 1 bod

#### Úloha 2

Vypočítej objem válce, je-li dáno:  $r = 2,5$  m,  $v = 3,75$  m

Body: 1 bod

#### Úloha 3

Studna má tvar válce s průměrem 1,4 metru. Hloubka vody je 5 m. Kolik hektolitrů vody je ve studni?

Body: 2 body

#### Úloha 4

Maminka peče dort. Má k tomu dortovou formu, jejíž kruhové dno má poloměr 12 cm. Dort po upečení naplní krémem. Chce udělat 3 vrstvy krému. Každou vysokou 9mm. Vypočítejte objem krému, který musí připravit.

Body: 4 body

#### Úloha 5

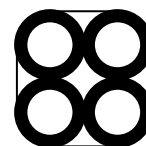
Kolik kilogramových plechovek ekologické barvy je potřeba zakoupit na natření padesáti dvěstělitrových otevřených sudů na vodu, které mají průměr 60 cm? Výrobce uvádí, že 1 kg barvy vystačí na plochu  $5 \text{ m}^2$ .

Body: 4 body

#### Úloha 6

Odpadní roury se prodávají v balení po 4 kusech. Odpadní roura má vnější poloměr 1,1 dm a délku 120 cm. Roury jsou v balení svázány fólií, která zakrývá polovinu délky roury. Jaký je obsah plochy fólie na jednom balení? (Nákres ukazuje, jak vypadá balení při pohledu zepředu).

Body: 5 bodů



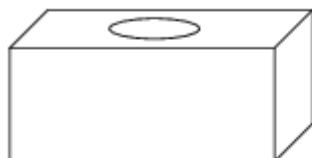
#### Úloha 7

Betonová trubka o světlosti (vnitřním průměru) 36 cm, tloušťce stěny 80 mm a délce 1 m se používá na stavbu odpadu. Kolik trubek může převézt v přívěsu auto, je-li jeho nosnost 0,5 tuny?

## B Zadání testu T2

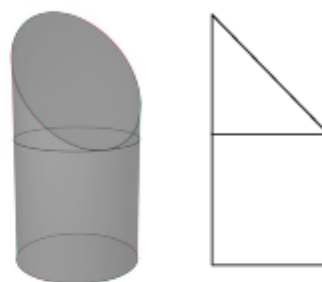
### 1. Úloha

Načrtněte neviditelné hrany



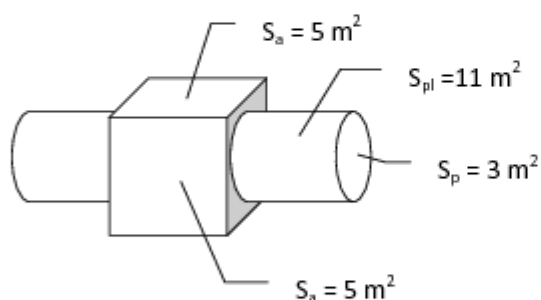
### 2. Úloha

Jaký je objem šedého tělesa, když objem původního válce před seříznutím byl  $12 \text{ m}^3$  a seříznutí končí v jedné polovině výšky původního válce?



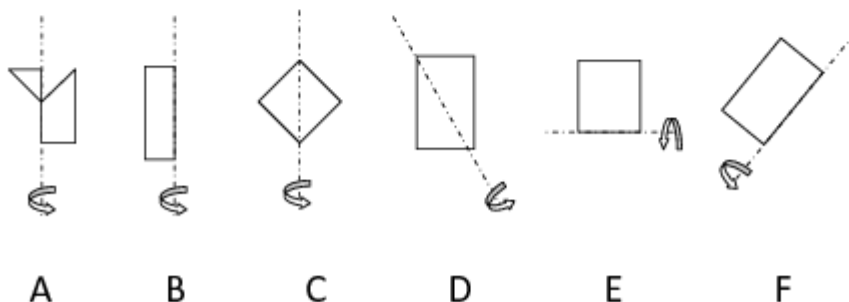
### 3. Úloha

Jaký je povrch tělesa? (Prostřední část tělesa tvoří krychle)



### 4. Úloha

Na obrázcích jsou zobrazeny tvary a rotační osy. V jakých případech vznikne rotací váleček? Správné odpovědi zakroužkujte.





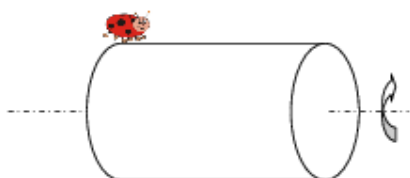
### 5. Úloha

Nakresli náčrt studny s hloubkou 5 m, vnitřním poloměrem 1 m a šířkou zdiva 30 cm. Pokus se dodržet proporce studny. Zakresli i neviditelné hrany.

### 6. Úloha

Po válci leze beruška. Snaží se lézt tak, aby byla na válci co nejvýše, ale válec se neustále otáčí.

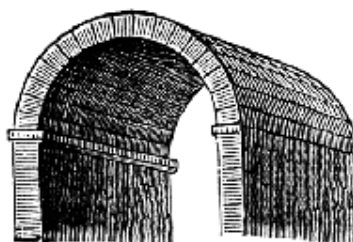
Beruška přeleze od jedné podstavy ke druhé přesně v okamžiku, kdy se válec otočí jednou dokola. Jak velkou vzdálenost beruška urazila? Výsledek nepočítejte, pokuste se ho vyjádřit náčrtem.



### 7. Úloha

Nakreslete síť těchto těles:

- 1) Otevřený sud (viz obrázek)
- 2) Chodba s půlkruhovým stropem (viz obrázek). Zanedbejte šířku stěn



## C Zadání testu a vzorové řešení T3

Sk. B

Jméno:

15-12

11-9

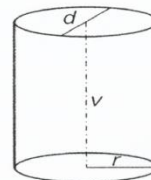
8-5

4-3

2-0

Válec má výšku 25 mm a průměr podstavy 40 mm.

- 1 Doplní údaje:  $v = 25 \text{ mm}$   
 $d = 40 \text{ mm}$   
 $r = 20 \text{ mm}$



- 2 a) Vypočti obsah jedné podstavy:

$$S_p = 3,14 \cdot 20^2 = 1256 \text{ mm}^2$$

- 2 b) Vypočti délku pláště:

$$v = 3,14 \cdot 40 = 125,6 \text{ mm}$$

- 2 c) Vypočti obsah pláště:

$$S_{pl} = v \cdot v = 125,6 \cdot 25$$

$$S_{pl} = 3140 \text{ mm}^2$$

- 2 d) Vypočti povrch celého válce:

$$S = 2 \cdot 1256 + 3140$$

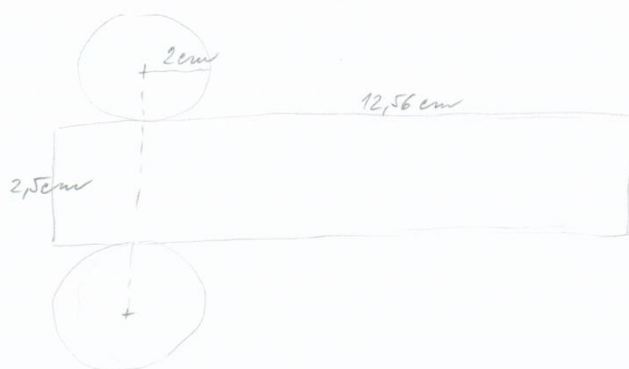
$$S = 5652 \text{ mm}^2$$

- 2 e) Vypočti objem válce:

$$V = 3,14 \cdot 20^2 \cdot 25$$

$$V = 31400 \text{ mm}^3$$

- 2 f) Narýsuj síť válce:



Čas	Činnost učitele	Činnost žáků	Prostředky	Poznámky
0	Docházka			
5	Opakování	Poslouchají		
6	Obsluhuje projekci	Úkol: Vznikne rotací válec?	Sešit, ActiveBoard	
7		Úkol: Načrtněte válec podle projekce	Sešit, ActiveBoard	
8		Jmenují příklady válce		
11	Ukazuje Google Maps	Sledují projekci	ActiveBoard, Google Maps - StreetView	
12	Rotuje zobrazením	Hledají v projekci příklady válců a zapisují je do sešitu	ActiveBoard, Google Maps - StreetView, sešit	
17		Jmenují příklady válce v projekci	ActiveBoard, Google Maps - StreetView	
21	Vysvětluje metodiku kreslení válce			
22	prochází třídou	Úkol: Podle metodiky kreslí válec	Učebnice, Sešit	
25		Vybarvují podstaty	Učebnice, Sešit	
27		Doplňují do obrázku na interaktivní tabuli parametry (výška, poloměr podstavu..)	ActiveBoard	
32		Cvičení: co je a co není válec (interaktivní tabule)	ActiveBoard	
38		Cvičení: Popište zobrazené parametry (str. 34-3)	Učebnice	
42		Úkol: 34-3 do sešitu	Učebnice	
43		Kontrola cvičení 34-3	Učebnice	
44		Cvičení: Vytvoření válce rotací (video)	ActiveBoard	

## D Incidenční arch

